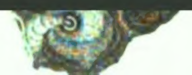
Géologie appliquée

Am Burat, Amédée Burat



Digitized by Google

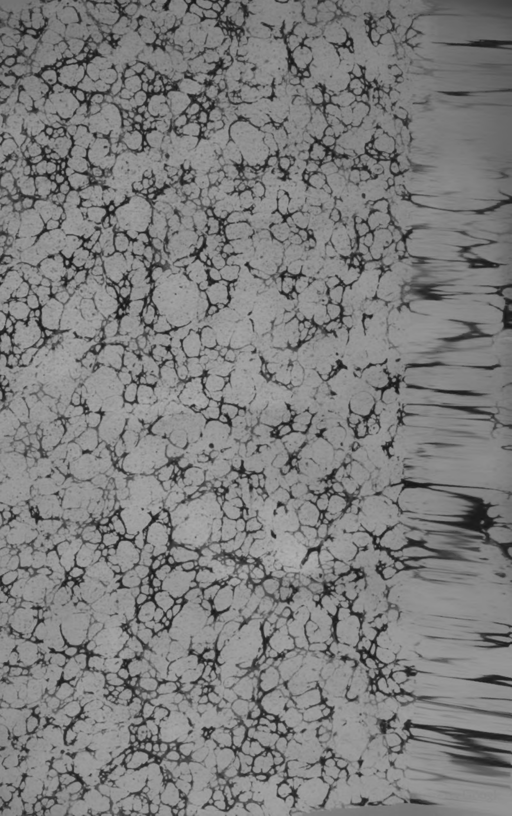
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

GIFT OF

F. L. A. PIOCHE.

1871.

Accessions No. 17555 Shelf No.



Digitized by Google

GÉOLOGIE APPLIQUÉE

Digitized by Google

DU MÊME AUTEUR

DE LA HOUILLE

Traité théorique et pratique des combustibles minéraux; par M. AMÉDÉE BURAT. 1 fort vol. in-8°, orné de plusieurs gravures sur acier et de nombreuses vignettes intercalées dans le texte. 12 francs.

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP. RUE D'ERFURTH, 1.

Digitized by Google

GÉOLOGIE APPLIQUÉE

TRAITÉ

DU GISEMENT ET DE L'EXPLOITATION

DES MINÉRAUX UTILES

PAR

M. AMÉDÉE BURAT

Ingénieur, Professeur de Géologie et d'Exploitation des Mines à l'École centrale des arts et manufactures

QUATRIÈME ÉDITION

DIVISÉE EN DEUX PARTIES

GÉOLOGIE — EXPLOITATION

PREMIÈRE PARTIE

GÉOLOGIE PRATIQUE

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

BIBLIOTHÈQUE
SAN FRANCISCO

PARIS
L. LANGLOIS, LIBRAIRE-ÉDITEUR
10, RUE DES MATHURINS-SAINT-JACQUES, 10

Les droits de traduction et de reproduction sont réservés

1858

Digitized by Google

TN145
B8
v.1
1858

Digitized by Google

A

MESSIEURS

ÉLIE DE BEAUMONT

ET

DUFRÉNOY

HOMMAGE DE L'AUTEUR

Digitized by Google

Digitized by Google

Vue du Massif du Mont-Blanc

Digitized by Google

GÉOLOGIE

APPLIQUÉE

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

CHAPITRE PREMIER

CARACTÈRES GÉNÉRAUX DU SOL. — PHÉNOMÈNES SUPERFICIELS.

La configuration physique du sol est le trait le plus caractéristique d'une contrée : la forme des vallées, tantôt resserrées par des versants abrupts, tantôt étendues et à peine encaissées par des coteaux lointains; les contours de l'horizon, formés par les lignes des plaines et des plateaux ou par les dentelures si variées des montagnes, donnent à chaque pays un aspect particulier. Ces caractères se gravent si profondément dans l'esprit, qu'après une longue absence les premières émotions éveillées par l'aspect d'une contrée sont inspirées par ces formes, ces contours, dont la mémoire retrouve les détails avant même que l'œil ait pu les saisir.

Ces caractères ne sont pas les seuls; il en est d'autres que l'on observe souvent sans s'en rendre compte, et qui viennent compléter ceux de la configuration : ce sont les caractères de la composition minéralogique du sol. Les falaises crayeuses de la Manche, avec leurs roches blanches ou jaunâtres et leurs lignes

de stratification, n'ont-elles pas une physionomie minéralogique saisie par toutes les intelligences et par toutes les mémoires? Les petites collines sablonneuses qui forment les dunes; les côtes montagneuses de la Bretagne avec leurs rochers granitiques et leurs crénelures quartzo-schisteuses; les calcaires compactes des côtes arides et dénudées de la Provence; les cimes découpées des Alpes et les magnifiques amphithéâtres formés par les granites ou les serpentines de l'Italie et par les roches calcaires et argileuses soulevées sur leurs flancs, n'offrent-ils pas une variété d'aspect qui se lie aussi bien à la nature des roches qu'à leurs contours? Lorsqu'on a longtemps habité ces falaises crétacées, ces collines ou plaines sablonneuses, ces montagnes granitiques ou calcaires, ces versants composés de couches diverses, n'a-t-on pas dans le souvenir mille remarques faites sur toutes ces roches, distinctes les unes des autres par leur coloration, leur dureté, et par les usages auxquels on les applique?

La composition du sol réagit autant que la forme sur les conditions de l'agriculture et de l'industrie.

Le sol fournit les pierres de construction et donne à chaque ville un caractère particulier; n'y puise-t-on pas en outre les argiles céramiques, les marbres, les granites, les minerais, les combustibles minéraux? De telle sorte que la composition du terrain se reflète à la fois dans l'aspect des constructions et dans les fabrications manufacturières.

Celui qui veut étudier la composition minéralogique du sol doit rechercher les dénudations que les terres végétales n'ont pas recouvertes et les excavations naturelles ou artificielles qui ont mis au jour les roches vives. Sur les versants très-élevés, ces dénudations naturelles sont nombreuses; les rochers y forment de fréquentes saillies; les eaux des ravins ont presque toujours atteint les roches en place, et leur mouvement en avive continuellement les surfaces. Dans les pays de plaine, au contraire, la terre végétale couvre souvent des superficies très-étendues, et, pour constater la nature des roches sous-jacentes, on est obligé d'interroger les berges des cours d'eau, et surtout les puits et

les excavations artificielles pratiquées pour exploiter les marnes, les argiles, les pierres à chaux ou à plâtre et les pierres de construction.

En présence des roches vives, l'observateur examine tout d'abord leurs caractères de coloration et de dureté. La coloration est très-variable; les teintes les plus ordinaires sont blanches, noires, jaunes, grisâtres, brunes et rouges; les tons verdâtres et violacés sont assez rares; les bleuâtres le sont plus encore. Quant à la dureté, elle se reconnaît à la vivacité des angles et des arêtes des blocs détachés, vivacité qui, dans les substances dures, contraste avec les contours arrondis des blocs composés de substances tendres. La première inspection permet d'ailleurs de distinguer les roches *scintillantes*, c'est-à-dire qui font feu au choc de l'acier, telles que les roches quartzeuses ou feldspathiques; les roches de dureté moyenne que l'acier raye, telles que les calcaires, les schistes ardoisiers, les gypses; les roches molles et délitables, telles que les marnes et les argiles; enfin les roches incohérentes et désagrégées, telles que les sables, les cailloux roulés et les limons qui forment le fond de beaucoup de vallées.

Un examen plus attentif conduit bientôt à de nouvelles observations.

Parmi les roches, il en est un grand nombre qui sont simples, c'est-à-dire dont la composition se rapporte à un seul élément minéralogique.

Les roches calcaires et argileuses, siliceuses, sont généralement simples; elles peuvent bien varier dans leur degré de pureté et se mélanger entre elles ou avec d'autres substances, par exemple avec des oxydes de fer, mais elles ne perdent pas pour cela le tissu homogène qui les caractérise. On donne ordinairement à ces roches la dénomination de *lithoïdes*, qui indique leur état compacte et sans apparence cristalline.

Il est, au contraire, d'autres roches dont le tissu est complexe et formé par l'enchevêtrement de plusieurs substances bien distinctes. Tels sont les granites, formés de feldspath lamelleux, de quartz vitreux et de mica; tels sont les porphyres, formés d'une

Digitized by Google

pâte compacte dans laquelle s'isolent des cristaux de feldspath clivable, de quartz vitreux, et souvent d'autres substances; les basaltes, roches noires et homogènes, qui contiennent des cristaux de feldspath grisâtre, de pyroxène noir et de péridot verdâtre et vitreux. Il en est de même de beaucoup d'autres roches formées d'éléments cristallins ou de pâtes minérales contenant des cristaux. On a appelé ces roches *cristallines*, pour les distinguer des roches lithoïdes.

Il existe une troisième classe de roches que l'on appelle *roches d'agrégation*. Elles sont composées de débris appartenant à toutes les autres, débris enlevés par l'action érosive des eaux, qui forment encore, dans les plaines et dans les vallées, des dépôts que l'on appelle souvent *alluvions*, *limons*, *sables* et *cailloux roulés*. Leur origine se reconnaît non-seulement à leur disposition stratifiée en couches, mais encore à leur composition en débris de toutes sortes, roulés par les eaux sous forme de sables et de galets. Ces débris sont tantôt libres et incohérents, tantôt soudés par un ciment quelconque, de manière à former des roches solides, que l'on nomme *brèches* lorsque les fragments empâtés sont anguleux, ou *poudingues* lorsqu'ils sont roulés en galets ovoïdes.

L'origine évidente de ces roches d'agrégation conduit à se demander quelle peut être celle des autres roches, lithoïdes ou cristallines.

L'étude des phénomènes qui modifient encore aujourd'hui les surfaces terrestres nous permettra d'apprécier les détails relatifs à la formation de ces diverses masses minérales, et même, en jetant un coup d'œil sur leur composition et leur structure, nous pourrons déjà reconnaître les traits les plus essentiels de leur origine.

Terrains sédimentaires. — Les roches lithoïdes présentent une structure généralement *stratifiée*, c'est-à-dire en couches successives et superposées.

Quelques-unes de ces couches reproduisent les caractères des roches d'agrégation et sont évidemment le résultat d'un sédiment; elles alternent avec les roches calcaires, argileuses ou si-

liceuses, de manière à faire penser que celles-ci pourraient bien avoir la même origine. Si l'on examine, en effet, les détails de la composition des roches calcaires, argileuses et siliceuses, on y trouve une multitude d'indices de concrétions et d'actions sédimentaires.

Parmi ces indices, il n'en est pas de plus frappant que l'existence des débris organiques.

Les calcaires, ainsi que les roches siliceuses et argileuses, présentent fréquemment des empreintes et des débris organiques, parmi lesquels dominent les coquilles et les polypiers. Ces fossiles, analogues aux espèces qui peuplent aujourd'hui les mers, indiquent que les roches qui les contiennent ont été formées par des dépôts effectués dans la masse des eaux. Leur abondance est telle, sur certains points, et leur conservation si parfaite, qu'ils représentent évidemment de véritables bancs de coquilles fossilisées sur place et englobées dans les concrétions sédimentaires qui se sont accumulées sur elles.

Les polypiers forment, de nos jours et dans certaines mers, des agglomérations considérables qui constituent des bancs, des récifs et des îles entières. Nous retrouvons dans certains calcaires des agglomérations madréporiques analogues.

Ainsi la réunion de ces trois grands faits : la stratification, l'alternance des roches lithoïdes avec des roches évidemment arénacées, l'existence dans certaines couches de fossiles analogues aux mollusques et aux zoophites de l'époque actuelle, prouve que l'ensemble des roches lithoïdes a été déposé dans les eaux.

La stratification des roches se manifeste dans tous les détails de leur structure; les délits qui déterminent les clivages dominants, les changements de coloration, les variations de pureté, de texture, etc., forment des lignes parallèles au plan de dépôt. En détaillant une couche, on peut ainsi la diviser en une série de lits successivement déposés, qui représentent autant de périodes et de phénomènes sédimentaires distincts.

On reconnait parmi ces roches celles qui résultent d'actions

mécaniques sur des roches préexistantes, actions qui ont désagrégé et entraîné des débris et les ont stratifiés au fond des eaux; les roches d'agrégation et les argiles se rapportent à ce mode de formation. D'autres paraissent résulter de véritables précipitations chimiques, telles sont les concrétions calcaires ou siliceuses, stratifiées en couches plus ou moins épaisses. Ces concrétions forment en général des dépôts distincts, et quelquefois se mêlent aux roches d'agrégation auxquelles elles servent de ciment et dont elles ont consolidé les débris.

Toutes ces roches constituent les *terrains sédimentaires*, terrains qui couvrent aujourd'hui la plus grande partie du sol émergé au-dessus du niveau des mers, et dont la formation semble se continuer dans les mers actuelles par l'accumulation des sédiments qu'y charrient continuellement les eaux courantes des surfaces continentales.

Terrains éruptifs. — Les roches cristallines ne sont pas stratifiées; leur structure est généralement massive, et les délits qui les divisent sont disposés de manière à les séparer le plus souvent en blocs irréguliers, quelquefois en solides prismatiques.

Leurs formes se rapportent tantôt à celles de massifs montagneux et arrondis, tantôt à celles de masses aplaties, filons ou dykes, qui coupent et traversent le plan des roches stratifiées, quelquefois à celles de couches peu étendues qui semblent avoir coulé à la surface du sol.

Les substances cristallines qui composent ces roches sont principalement des feldspaths (c'est-à-dire des silicates doubles d'alumine et de potasse, soude ou chaux), des pyroxènes et des amphiboles (silicates doubles de chaux, magnésie et fer), des serpentines (silicates magnésiens), toutes substances fusibles et analogues à celles que produisent les phénomènes volcaniques de l'époque actuelle; elles sont cristallines, comme les roches qui, après avoir été fondues, ont été soumises à un refroidissement très-lent.

Ces caractères de composition, joints à ceux de la forme et de la structure, conduisent à considérer les roches cristallines comme

résultant d'actions éruptives, origine complétement justifiée par les altérations minéralogiques que l'on observe souvent à leur contact avec les roches lithoïdes, et surtout par les perturbations qu'elles ont apportées dans leur stratification.

Ces dispositions des masses minérales cristallines, qui semblent être sorties à travers les couches stratifiées qu'elles ont altérées et bouleversées ; les analogies qui existent entre ces phénomènes et les phénomènes volcaniques de l'époque actuelle, démontrent qu'il existe et qu'il a existé de tout temps, en dessous de l'écorce terrestre, des roches à l'état de fluidité ignée, dont la réaction vers la surface se manifeste par des éruptions et des soulèvements. On a donc donné à ces roches cristallines les dénominations de terrains *ignés* ou *éruptifs*.

Les terrains éruptifs se rencontrent généralement dans les pays de montagne ; leur abondance est, en quelque sorte, en raison de l'étendue et de l'élévation de ces montagnes, c'est-à-dire proportionnée aux bouleversements que l'écorce minérale du globe semble avoir subis.

C'est ainsi qu'un premier examen de la composition des roches, de leur structure, des formes qu'elles affectent, conduit à l'étude des théories géologiques. Ces plaines, ces plateaux, ces versants inclinés, seraient composés de roches sédimentaires formées par l'action des mers ; ces montagnes, ces pics escarpés, auraient été violemment soulevés par les roches éruptives qui les composent en grande partie, et telle contrée où l'on ne voit plus qu'une végétation luxuriante devrait son relief aux bouleversements et aux feux volcaniques.

Ces théories sur l'origine des masses minérales ont de tout temps séduit les esprits naturellement portés vers les études géologiques, mais on doit ne s'y laisser entraîner qu'après les avoir déduites de l'observation. La géologie a pour but plus spécial d'étudier le gisement des roches et des minéraux qui dérivent des actions ignées ou sédimentaires, de constater les relations qui unissent la série des masses minérales, et de classer ces masses, de telle sorte qu'en étudiant une surface on

puisse indiquer à l'avance les roches qui peuvent se trouver au-dessous de celles qui sont visibles. Cette science doit être, avant tout, le guide de ceux qui sont appelés à exploiter le sol, à y rechercher les matières utiles, depuis les matériaux de construction les plus vulgaires, jusqu'aux métaux les plus précieux et aux gemmes les plus rares.

Mais, pour atteindre ce but tout pratique, il faut connaître les conditions de formation de ces minéraux afin de pouvoir apprécier les détails de leur gisement. Nous commencerons donc l'étude de cette partie de la géologie par l'examen des phénomènes actuels de la surface du globe, phénomènes qui ont les plus grandes analogies avec ceux des temps passés.

RELIEF DU SOL. — ACTION DES EAUX.

Les terres émergées au-dessus du niveau des mers forment environ le quart de la surface totale du globe.

Elles présentent des conditions très-variées, non-seulement d'après leur latitude et leur climat, mais encore d'après leur relief et ce que l'on appelle leur *altitude*, c'est-à-dire leur élévation au-dessus du niveau des mers.

Une grande altitude influe tout à la fois sur la température d'un pays et sur toutes les conditions de la surface. C'est, en effet, dans les parties les plus élevées des massifs continentaux que prennent naissance les ruisseaux et les rivières formés par les eaux atmosphériques ; ils y coulent en filets plus divisés et plus rapides, tandis que les parties les plus basses reçoivent ces eaux rassemblées en fleuves larges et tranquilles et les rendent à la mer.

Les cartes géographiques indiquent les tracés complexes des réseaux formés par les eaux courantes ; on y reconnaît facilement une des conditions principales du relief du sol, qui est de former les bassins hydrographiques distincts dans lesquels tous les cours d'eau se rendent à un fleuve principal. Le tracé

de toutes ces artères donne, en outre, une première idée des pentes de la contrée.

Les bassins hydrographiques sont encaissés dans leurs parties supérieures par les montagnes les plus élevées, tandis que leur partie inférieure est formée par un sol faiblement accidenté ou par des plaines basses dont le niveau s'incline insensiblement jusqu'à la mer. Un grand bassin hydrographique qui comprend toutes les eaux affluentes dans un fleuve principal se subdivise lui-même en bassins hydrographiques secondaires; ce sont ceux des rivières affluentes, composés eux-mêmes de bassins latéraux qui contiennent les cours d'eau de troisième ordre. En suivant ainsi les subdivisions, on arrive aux premiers cours d'eau qui sillonnent les versants les plus élevés, et que l'on désigne sous la dénomination de torrents, à cause de la rapidité de leurs pentes et des inégalités du volume de leurs eaux.

Les cartes présentent ainsi deux sortes de lignes toujours essentielles à étudier. Les lignes d'eau, qui indiquent les parties les plus basses des vallées, c'est-à-dire les lignes d'intersection de la partie inférieure des plans formés par les versants, c'est ce que l'on appelle les *thalwegs;* en second lieu, les *lignes de faîte* ou lignes de partage des eaux, marquées d'une manière moins précise, mais faciles à tracer approximativement entre les cours d'eau qui suivent des directions opposées. Ces lignes de faîte, formées par l'intersection de la partie supérieure des versants, séparent les vallées dont les eaux marquent les thalwegs; elles sont indiquées par les points culminants, et désignées sous les dénominations de *lignes de faîte*, *crêtes* ou *arêtes* de partage.

Les points culminants des lignes de faîte sont des observatoires naturels, du haut desquels on peut étudier le relief et la constitution géologique d'une contrée. Ils servent de points de repère pour la triangulation des cartes, c'est-à-dire pour l'établissement des points fixes, et l'on inscrit souvent à côté de la projection de leur configuration leur altitude mesurée, soit avec le baromètre, soit avec les instruments géodésiques.

Les points les plus élevés d'une contrée se trouvent naturellement situés sur les lignes de faîte qui séparent les bassins hydrographiques principaux, c'est-à-dire ceux des plus grands fleuves.

Position des cols. — Pour passer d'une vallée dans une vallée voisine, comme pour passer d'un bassin hydrographique dans un autre, il faut traverser les lignes de faîte qui les séparent. Or une ligne de faîte présente des points minimum, c'est-à-dire moins élevés que les autres. Ces dépressions sont ce que l'on appelle des *cols*.

Lorsqu'il s'agit de traverser une ligne de faîte très-élevée et dont les découpures sont très-prononcées, telles que celles des Pyrénées ou des Alpes, on reconnaît assez facilement les cols, car ils présentent de profondes échancrures. Les célèbres routes du mont Cenis, du Saint-Bernard, du Simplon, passent par les cols les plus praticables des grandes Alpes; dans les Pyrénées, les *ports* de Gavarnie et du Passage sont des dépressions également très-prononcées. Mais, lorsque les lignes de faîte sont peu saillantes et très-prolongées, comme celles qui séparent les bassins de la Loire et de la Seine, de la Loire et du Rhône sur une grande partie de leur contact, l'observation directe ne peut indiquer la position des dépressions, et il a fallu avoir recours à des opérations multipliées pour les déterminer. Cependant, comme la connaissance de ces cols est très-importante au point de vue du tracé des routes, des chemins de fer et des canaux, on a cherché à reconnaître leur situation d'après la disposition relative des thalwegs, et l'on est arrivé à réunir quelques observations importantes.

Un caractère essentiel que révèle l'étude des lignes de faîte, c'est que ces lignes ont la même pente générale que les thalwegs qu'elles encaissent.

Il résulte de ce principe que l'on peut approximativement déterminer, dans un assez grand nombre de cas, la position des cols sur les lignes de faîte.

Ainsi, que l'on suppose deux cours d'eau parallèles, coulant

Digitized by Google

en sens inverse et prenant leurs sources en A et A'. Puisque le premier cours d'eau prend sa source en A, ce point A est voisin d'un point culminant, et, puisqu'il coule dans le sens de la flèche, la ligne de faîte suit la même pente. Appliquant le même raisonnement au cours d'eau qui prend sa source en A', on voit que la ligne de faîte LF devra présenter une double pente vers le point x, et, par conséquent, en joignant le point A au point A', la diagonale tracée devra couper la ligne de faîte en un point très rapproché de la plus grande dépression, c'est-à-dire du col.

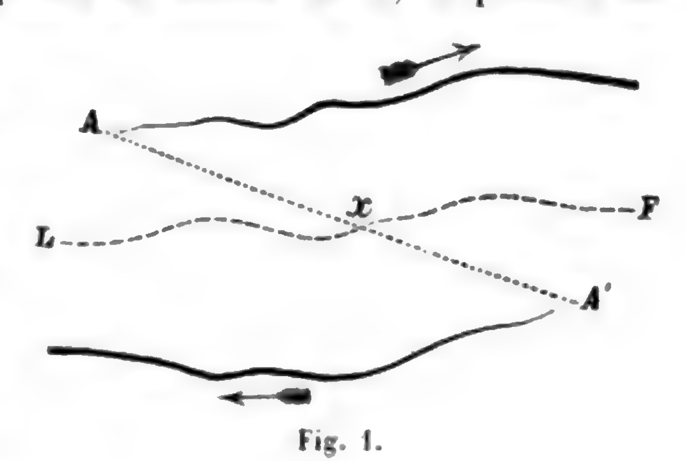


Fig. 1.

Lorsqu'un cours d'eau, après avoir suivi une direction déterminée, tourne brusquement pour en suivre un autre, c'est ordinairement parce que la ligne de faîte qui le domine se relève subitement et repousse le thalweg dans un autre sens. Ainsi, dans le cas de deux cours d'eau parallèles et coulant en sens inverse, si l'on joint par une diagonale deux coudes en sens contraire supposés faits par ces deux cours d'eau, cette diagonale doit couper la ligne de faîte en un point rapproché d'un col.

Nous venons de supposer l'existence de deux cours d'eau parallèles et coulant en sens inverse; supposons maintenant que deux cours d'eau parallèles coulent dans le même sens. Il arrivera nécessairement un moment où cette direction parallèle cessera d'exister; admettons que chacun des deux cours d'eau s'en écarte par deux coudes en sens contraire (fig. 2). La ligne de faîte qui sépare les deux thalwegs inclinera dans le sens indiqué par la pente des cours d'eau; mais, si la direction des deux cours d'eau a été changée, c'est qu'il y a eu un relèvement de cette ligne de faîte. En joignant les coudes des deux cours d'eau par une diagonale CC', on coupera donc la ligne de faîte LF, près de la rencontre des deux inclinaisons opposées que pré-

sente la ligne de faite, et cette rencontre des deux inclinaisons

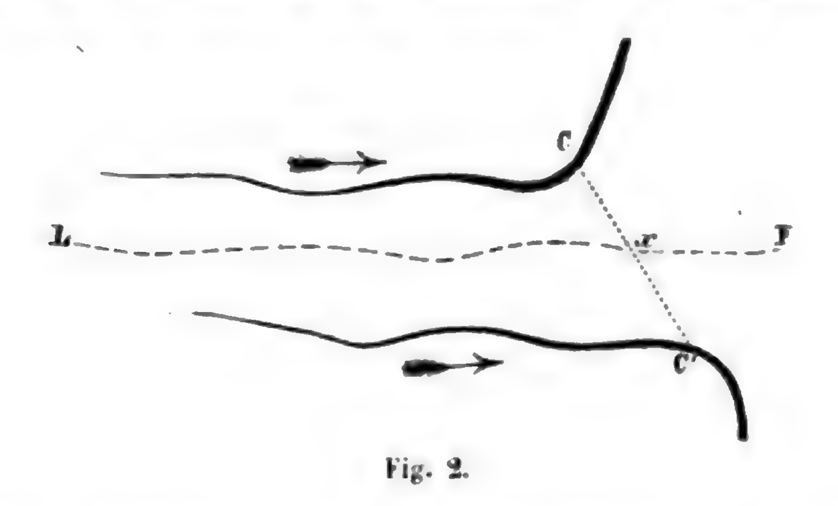


Fig. 2.

opposées en x sera le point d'altitude minimum, c'est-à-dire le col.

La carte de France nous présente des exemples nombreux de l'application de ces principes.

Ainsi, pour le premier cas, nous pouvons citer le tracé du canal du Centre qui joint la Saône et la Loire, et celui du chemin de fer de Lyon à Saint-Etienne et Andrezieux qui joint le Rhône à la Loire. Ces deux tracés passent par des dépressions indiquées par la divergence des thalwegs, conformément aux principes qui viennent d'être exposés comme applicables aux rivières parallèles sur une partie de leurs cours et coulant en sens inverse. Pour le second cas, nous citerons le canal du Midi, qui, de Toulouse à Carcassonne, joint les deux coudes en sens opposé de deux cours d'eau, d'abord parallèles et coulant dans le même sens, la Garonne et l'Aude.

Relief du sol. — L'étude des cartes conduit donc à apprécier, non-seulement dans son ensemble, mais encore dans tous ses détails, le relief d'une contrée. On y reconnaît facilement les pays de plaine, tels que le nord de l'Europe, comprenant le Danemark, la Prusse septentrionale et les vastes steppes de la Russie; tels aussi que le Sahara de l'Afrique et les Pampas de l'Amérique méridionale. Avec ces contrées peu accidentées contrastent déjà celles qui présentent des ondulations de quelques centaines de mètres, pays de larges vallées et de plateaux mou-

Digitized by Google

vementés par quelques collines, comme les Flandres, le nord de la France, le bassin de la Seine et la Normandie.

Le caractère montagneux se révèle par la multiplicité des cours d'eau. Quelquefois le sol présente une réunion de montagnes, presque égales entre elles, ne se rapportant pas bien clairement à aucun système central ou linéaire, et restant généralement au-dessous de mille mètres. Telle est la Bretagne, où les lignes de faîte ont un caractère sinueux et indécis et où les cours d'eau sont trop nombreux pour atteindre des volumes considérables.

Les parties les plus élevées prennent au contraire des caractères plus précis. Tantôt ce sont des *groupes de montagnes*, comme les monts Dore, le Mezenc et le Cantal, qui dominent les accidents subordonnés du grand plateau central de la France, et autour desquels divergent, comme les rayons d'un cercle, les nombreux cours d'eau qui y prennent leur source. Le plus souvent, ce sont des *chaînes de montagnes*, dont les crêtes linéaires dominent les thalwegs des vallées principales : telles sont les Alpes et les Pyrénées. Les grands fleuves suivent généralement par un parallélisme éloigné la direction de ces grandes crêtes culminantes, et coulent dans des vallées *longitudinales* qui reçoivent les eaux de toutes les vallées *transversales*.

Le relief de ces groupes et chaînes de montagnes atteint des hauteurs souvent considérables. Les groupes du centre de la France s'élèvent jusqu'à 1800 et 1900 mètres au-dessus du niveau des mers. Dans les Pyrénées et les Alpes, les sommités atteignent 3000, 4000 mètres et au delà; elles dépassent la limite des neiges éternelles qui, pour ces latitudes, est entre 2200 et 2500 mètres. On sait que la hauteur de ces montagnes, les plus élevées de l'Europe, est bien loin d'égaler celle des sommités de la chaîne des Andes Cordilières dans l'Amérique méridionale, dont les cimes s'élèvent à plus de 7000 mètres, et celles de l'Himalaya qui dépassent 8000 mètres.

Action des eaux courantes. — Que l'on remonte actuellement le cours d'un grand fleuve, depuis son embouchure jus-

qu'aux montagnes élevées où ses artères extrêmes vont prendre leur source, et l'on observera une série de phénomènes relatifs à l'action érosive et sédimentaire des eaux.

Ces phénomènes sont partout les mêmes et ne varient que dans les limites qui résultent de l'échelle plus ou moins grande sur laquelle agissent les eaux.

Les fleuves arrivent à la mer sur des pentes généralement très-faibles; tantôt ils débouchent encaissés dans une large ouverture que l'on appelle un *estuaire*, comme la Seine de Quillebœuf à Honfleur, et le Tage, de Lisbonne jusqu'à la mer; tantôt ils se divisent en plusieurs branches, sur un terrain formé par leurs propres atterrissements qui s'avancent dans la mer en formant ce que l'on appelle un *delta*.

Dans les deux cas, le phénomène des dépôts abandonnés par les eaux est très-sensible.

Les estuaires sont trop encaissés pour que la puissance sédimentaire du fleuve puisse les obstruer complétement; les dépôts s'y font sur les côtés et comblent les anfractuosités latérales. Les deltas se forment dans les contrées planes, qui coupent le plan horizontal des mers sous des angles très-aigus et s'enfoncent presque insensiblement sous des mers peu profondes; les dépôts s'y accumulent partout où passent les eaux du fleuve; lorsque ce fleuve élevé sur ses propres sédiments vient à rompre ses digues, il se répand dans les plaines et suit un autre lit qui ne tarde pas à s'envaser et à s'exhausser comme le précédent. Par la succession de ces envasements et de ces changements de direction, les fleuves se divisent, dans les deltas, en rameaux divergents, de manière à former un triangle ayant pour base la ligne littorale comprise entre les embouchures extrêmes, et pour sommet le premier point de subdivision des eaux.

En amont du sommet de ces deltas, se trouve la partie du fleuve où les eaux sont à la fois les mieux réglées dans leur volume et les plus abondantes. Dans toute cette partie de son régime régulier, le fleuve ne produit que peu d'atterrissements; mais il entraîne des sables qui forment quelquefois des bancs

mobiles, et qui, se réduisant par le frottement, fournissent les matériaux qui ensablent la région inférieure. Les grains qui constituent ces sables augmentent de volume lorsqu'on remonte le fleuve, les pentes plus rapides permettant aux eaux de rouler de plus gros éléments; de sorte qu'à mesure qu'on s'élève en remontant la vallée, on passe successivement du limon des deltas au sable fin, puis au sable grossier, puis au gravier contenant des galets gros comme des amandes, puis enfin aux galets de la grosseur du poing et au delà que le fleuve roule dans la partie supérieure de son cours.

Lorsqu'on arrive à la région des galets, le régime du fleuve devient plus variable; la contrée montagneuse déverse dans la vallée principale des affluents torrentiels, presque à sec en été, mais violents et sujets aux débordements dans les saisons pluvieuses. Cette région est celle des *érosions*. Les pentes y atteignant leur maximum, les eaux animées d'une grande vitesse désagrégent les roches, les roulent, les entrainent en blocs de toute dimension, et fournissent les éléments des galets qui, transportés à leur tour dans la zone du régime régulier, passent à l'état de graviers, sables et limons.

Ceux qui habitent les contrées peu accidentées ont peine à comprendre l'énergie de cette action érosive, et, pour s'en faire une idée, il leur faut étudier le cours de ces ruisseaux que l'on appelle des *torrents*.

Ces torrents prennent naissance dans les hautes régions, où l'abaissement de la température détermine de violents orages par la condensation rapide des eaux atmosphériques. Les eaux, accumulées sous forme de neiges et de glaciers, fondent en partie dès que la température s'élève, et produisent des courants d'eau non moins abondants que ceux des orages les plus énergiques.

Un torrent reproduit sur une échelle moindre, mais plus violente, les actions des rivières et des fleuves; il comprend ordinairement trois parties distinctes : le bassin de réception, le canal d'écoulement et le cône de déjections.

Le bassin de réception se trouve sur les versants supérieurs des montagnes, là où les contre-forts latéraux qui se détachent des crêtes principales ne sont pas encore bien saillants. De petits ruisseaux se ramifient sur ces versants élevés et reçoivent des eaux qui se réunissent bientôt dans un canal profondément encaissé par les contre-forts latéraux. Dans ce canal à forte pente, qui est le canal d'écoulement, les eaux atteignent les plus grandes vitesses après les orages et les fontes de neige; elles déchaussent les roches, en font rouler les débris de cascade en cascade, et les entrainent avec une violence telle, qu'ils brisent tout ce qu'ils rencontrent. Ces canaux débouchent dans des vallées plus grandes dont les pentes sont beaucoup plus faibles; tous les matériaux charriés s'y déposent et forment par leur accumulation des amas demi-coniques, que l'on a appelés *cônes de déjections*.

Lorsqu'un torrent forme un cône très-saillant dans la vallée transversale où il débouche, il repousse les eaux de cette vallée vers l'encaissement qui lui est opposé; quelquefois il les barre complétement et détermine des inondations dans les pays supérieurs à ce barrage, jusqu'à ce que les eaux rompent cette digue et en entrainent les débris.

Les rivières torrentielles dans lesquelles débouchent les torrents présentent déjà un régime plus régulier; elles coulent dans de larges vallées, dont le fond, nivelé par la stratification horizontale d'une grande quantité de débris, contraste avec les pentes abruptes qui les encaissent. Ce fond est loin cependant d'être horizontal, et les rivières qui y coulent ont encore des pentes d'un centimètre par mètre; aussi sortent-elles souvent de leur lit et entraînent-elles une grande quantité de galets et de débris vers les vallées plus basses et moins inclinées des grandes rivières. C'est seulement lorsque la pente des thalwegs se réduit à un millimètre par mètre, par exemple dans la vallée du Doubs à Besançon, que la navigation peut commencer à s'établir, quoique cette pente permette encore aux eaux de rouler des galets de 10 à 15 centimètres de diamètre.

Digitized by Google

Les thalwegs des fleuves, dans la zone de leur régime le plus régulier, présentent des pentes variables. Les fleuves rapides, tels que le Rhône et le Rhin, ont des pentes de 0^{m},00095 à 0^{m},00050 par mètre, dans la partie supérieure de leurs cours, et de 0^{m},00050 à 0^{m},00025 dans la partie moyenne. Pour les fleuves tranquilles, tels que la Seine et la Loire, les pentes ne varient guère que de 0^{m},00025 à 0^{m},00010. Enfin, dans la région des deltas, les pentes commencent à 0^{m},00004 et s'éteignent progressivement jusqu'à devenir insensibles au moment où les eaux du fleuve se jettent dans la mer.

Les actions érosives et sédimentaires des eaux courantes sont-elles assez énergiques pour déterminer des changements notables dans la configuration physique des continents et dans le tracé géographique de leurs contours?

Toutes les contrées de deltas présentent des phénomènes d'empiétement des dépôts sur la mer. Ainsi, en 1630, la tour Saint-Louis se trouvait à l'extrémité du Rhône, sur le bord de la mer, et c'est de ce point que partirent les croisés pour l'Afrique. Aujourd'hui, l'embouchure du Rhône est à 4000 mètres plus loin, de telle sorte qu'il s'est produit en deux siècles une saillie de près d'une lieue.

En examinant la structure et la composition des deltas, on peut se rendre compte de tous les empiétements qui ont été produits par les atterrissements et qui forment en général des saillies sur les lignes littorales. Le delta du Rhône résume assez bien tous les phénomènes observés dans les autres, tels que les deltas du Rhin, du Pô et de l'Adige, du Gange, du Mississipi, etc.

Le commencement du delta du Rhône est au-dessous d'Arles, là où son cours se sépare en deux branches; l'une est la branche principale, suivie par la navigation; l'autre, d'un volume d'eau plus faible, est ce que l'on appelle le petit Rhône. Ces deux branches suivent un cours assez sinueux comme celui de toutes les rivières qui coulent sur des plaines horizontales. Le petit Rhône, surtout, décrit un grand nombre d'inflexions et finit par se diviser lui-même en deux artères; l'une conserve son nom, et

Digitized by Google

l'autre, plus à l'ouest, s'appelle le Rhône mort. L'artère principale se divise aussi; d'abord à 8 kilomètres au-dessous d'Arles, par la séparation d'une branche occidentale qu'on nomme le vieux Rhône; puis, au-dessous de la tour Saint-Louis, en trois canaux qui forment trois embouchures. Les six embouchures par lesquelles la masse des eaux du Rhône se jette ainsi dans la mer sont en saillie plus ou moins prononcée sur la ligne littorale.

Toutes les surfaces comprises entre les côtés extrêmes du delta et même celle des contrées environnantes sont des plaines horizontales couvertes d'atterrissements, limons, sables ou cailloux roulés; la partie centrale comprise entre le Rhône et le petit Rhône est moins remblayée et se trouve occupée par les marais de Valcarès.

En examinant la composition et la configuration du sol de toute cette contrée, on distingue une côte rocheuse formée par des collines qui décrivent un grand arc de cercle passant par Fos et Arles, de manière à englober tout le delta. Dans cette enceinte semi-circulaire les eaux du Rhône semblent avoir déversé tous les atterrissements qui l'ont comblée et qui forment la ligne des côtes actuelles.

Ces atterrissements sont de deux natures et appartiennent à deux époques différentes. Les plus anciens, qui constituent le sous-sol des sables et des limons de l'époque actuelle, sont à découvert en dehors du delta et forment notamment les plaines de la Crau. Ce sont de gros graviers et des galets, tels que le Rhône ne peut plus en charrier aujourd'hui, composés de roches appartenant à la région des Alpes. Le plan formé par ces alluvions est sensiblement incliné et couperait le plan horizontal de la mer de manière à former une ligne de côte concave, partant des collines de Fos et passant par le point de bifurcation du vieux Rhône, au-dessus des étangs de Valcarès. En dehors de cette côte se trouvent environ 800 kilomètres carrés de sables et limons, qui peuvent être considérés comme les atterrissements de l'époque actuelle et qui déterminent une ligne de côte légèrement convexe.

Tels sont les effets que l'on retrouve à l'embouchure de tous les fleuves à deltas, et qui s'agrandissent proportionnellement au volume des eaux. Ainsi la Nouvelle-Orléans, bâtie dans le delta du Mississipi, est à 200 kilomètres de son embouchure réelle, et l'encaissement du fleuve est formé d'atterrissements qu'il couvre encore en grande partie dans ses débordements.

Le delta du Gange, presque aussi étendu, constitue une contrée marécageuse complétement inhabitée, de plus de 8000 kilomètres carrés. Le delta du Nil offre des phénomènes analogues; les terrains y sont souvent submergés; mais, depuis longtemps, la main de l'homme y a réglé les atterrissements et su les faire tourner au profit de l'agriculture.

Dans les deltas habités, comme ceux du Rhin, du Pô, du Rhône, etc., on s'efforce de maintenir le fleuve dans un lit aussi régulier que possible au moyen de digues; mais, comme le dépôt continuel des limons en a exhaussé le fond, on a été obligé de surélever ces digues, et l'on est arrivé à donner aux eaux un niveau beaucoup plus élevé que celui des terres environnantes. L'agriculture a tiré parti de cet état de choses. On partage les terres en compartiments, on y fait entrer les eaux, et, avant de les rendre à la mer par un canal spécial, on laisse déposer le limon fertilisant dont elles sont chargées. Cette opération, très-pratiquée en Hollande, est ce que l'on appelle le *colmattage*.

En résumé, l'action des eaux est érosive dans les pays montagneux et élevés, elle y désagrége les roches et ne cesse d'en charrier les détritus; elle est sédimentaire dans les contrées les plus basses, qui reçoivent ces détritus sous forme de sables et de limons. Tout ce qui n'est pas déposé vers les embouchures des fleuves est entraîné plus au large et va se stratifier sur le fond des mers.

Actions des eaux de la mer. — Les eaux de la mer exercent elles-mêmes des actions dont il est important de se rendre compte, parce que, dans beaucoup de cas, elles se combinent avec celle des eaux courantes, de manière à produire sur les

côtes des phénomènes remarquables, et à modifier leurs formes naturelles.

Les eaux de la mer, si souvent agitées par les vents, viennent frapper le rivage et sapent les roches qui s'élèvent au-dessus de leur niveau. Ces chocs incessants et les éboulements qui en sont la suite produisent des matériaux qui, continuellement roulés par les lames, sont bientôt convertis en galets, puis en gravier et en sable fin. Ce sont ces débris, tantôt isolés, tantôt mêlés à ceux qu'apportent les fleuves, qui constituent le fond des mers.

Complétement immobiles dans les mers profondes, ces débris sont soumis, vers les côtes, à un mouvement fréquent. Les vents agitent et soulèvent une épaisseur d'eau d'autant plus considérable qu'ils sont plus énergiques et plus continus, et le balancement des vagues qui en résulte se fait sentir jusque vers 40 ou 50 mètres de profondeur.

Lorsque le vent souffle de la côte, la mer, abritée par la saillie des terres, éprouve une agitation peu considérable, et son niveau tend seulement à baisser par l'impulsion donnée aux lames qui se déroulent vers le large; toutefois, comme ces lames reviennent sur elles-mêmes par le mouvement oscillatoire, qui leur est imprimé, elles donnent déjà sur le fond des coups assez violents. Mais, lorsque le vent souffle du large, les eaux, amoncelées en vagues, battent le rivage et ne se retirent que pour revenir un instant après frapper la côte d'un choc énergique. Sur les côtes élevées, l'action la plus sensible de ces chocs est l'érosion et la destruction des roches; mais, sur les côtes découvertes, les sables et galets, sans cesse poussés vers la terre, s'amoncellent et forment des *levées* ou *cordons littoraux*.

Ces cordons littoraux qui atteignent des hauteurs de 5 à 8 mètres, et quelquefois des largeurs de plus d'un kilomètre, finissent par fermer les baies, comme celles de Memel et de Stettin, et souvent réunissent au continent les îles qui en étaient détachées comme celles du Monte Argentario, sur la côte de Tos-

Digitized by Google

cane; du Sépé, près de Toulon; d'Alexandrie, sur la côte d'Égypte, etc.

Les estuaires des fleuves sont soumis aux mêmes influences de remblais; mais, comme les eaux des fleuves qui y coulent tendent à repousser ces remblais, il s'établit un équilibre entre les deux actions, et il s'y forme des cordons littoraux submergés que l'on appelle des *barres*.

Les barres sont un obstacle grave pour la navigation. Dans l'estuaire de la Seine, la barre est à Quillebœuf, et, pour la franchir, les navires doivent attendre que la marée soit haute. On sait combien de navires se sont perdus sur cette barre, et il a fallu des travaux considérables d'endiguement pour obliger le fleuve à se maintenir un lit praticable et régulier. Tous les estuaires présentent des difficultés analogues.

Dans les grandes baies qui sont fermées par des cordons littoraux et qui reçoivent des eaux fluviales, il se forme, sur le point le plus faible du cordon, une rupture et une barre. Ainsi l'entrée de la baie de Stettin est à Sunemund où la barre ne laisse pas plus de quelques mètres de tirant d'eau. De même, dans le cordon qui ferme la baie de Memel, il y a rupture et barre près de cette ville.

Lorsque les cordons littoraux se forment sur des côtes peu profondes, ils laissent derrière eux des marais ou *lagunes* qui constituent quelquefois des contrées fort étendues. Les lagunes de Venise, les marais Pontins, les maremmes de la Toscane, les étangs de Mauguio, près de l'embouchure du Rhône, en sont des exemples. En Hollande, on épuise les eaux de ces lagunes et l'on obtient des terres cultivables dont le niveau est quelquefois inférieur de 8 mètres à celui de la mer, et qui sont garanties contre son envahissement par les cordons littoraux et souvent par des digues artificielles. Ces contrées sont ce que l'on appelle des *Polders*. Plus d'une fois, à la suite de violents ouragans, la mer a rompu les obstacles qu'elle avait elle-même formés, forcé les digues et envahi les conquêtes que l'on avait faites sur elle. La mer de Harlem, que l'on dessèche aujourd'hui,

était autrefois une plaine habitée, et beaucoup de parties du Zuyderzée sont dans le même cas.

Cette action de la mer, si sensible sur les points où on l'observe en détail, est presque nulle relativement à la carte d'ensemble des continents; c'est un mouvement qui tend à régulariser l'allure générale des lignes de côte et à en combler les infractuosités.

S'il ne nous est pas possible de suivre avec le même détail ce qui peut se passer sur les fonds des mers, nous connaissons assez bien la configuration et la composition de ces fonds pour conclure : que l'action de la mer a toujours été une action de nivellement et que ses fonds, s'ils étaient mis à découvert, présenteraient un aspect de plaines plus horizontales que toutes les plaines émergées. Les rochers et les écueils y formeraient, au-dessus des dépôts stratifiés, des saillies comparables à celles des îles que nous voyons surgir au-dessus du niveau horizontal de la mer.

Si l'on étudie les cartes marines qui indiquent les profondeurs des mers, on reconnaît en effet que le fond présente des inclinaisons généralement si faibles, que les dépôts, stratifiés par l'action simultanée des eaux courantes et des eaux marines, sont de la classe de ceux que l'on peut appeler horizontaux. Ainsi, dans la Manche, les pentes du fond ne sont que dix ou vingt fois plus grandes que celles qui résultent des dénivellations produites par la marée, et, partout, ce fond est composé de graviers, sables et limons coquilliers. Il y a donc eu un dépôt qui a nivelé les inégalités, et l'inclinaison de ce dépôt n'est sensible que parce qu'elle se trouve rapportée au plan plus rigoureusement horizontal du niveau de la mer. Que l'on suppose le fond de la Manche mis à découvert, et l'œil pourrait à peine en saisir les différences de niveau; ce serait une plaine sensiblement horizontale.

Le fond de la Manche présente, sur son littoral, des bancs d'huîtres et de coquilles dont il importe d'étudier la position.

Les mollusques qui habitent la mer sont concentrés dans

une certaine zone ou lame d'eau dont la profondeur ne peut être très-considérable. Au delà de 40 ou 50 mètres les eaux sont sans lumière et sans air. Or, comme ces conditions sont opposées au développement des organisations végétales et animales, on est autorisé à penser qu'à cette profondeur les eaux ne sont plus habitées par aucun des mollusques qui vivent en place, et qui ont besoin, pour se développer, du contact de l'eau aérée et des végétaux marins. Si donc les dépôts marins qui forment le fond se trouvaient subitement asséchés, les lignes indiquées par les bancs de mollusques traceraient, vers le périmètre et les hauts fonds, un plan de repère encore plus sensiblement horizontal que les dépôts eux-mêmes.

Dépôts sédimentaires. — Ces observations sur le nivellement continu du fond des mers par des dépôts sensiblement horizontaux, et sur l'existence des débris organiques qui s'y développent, nous permettront de faire des comparaisons utiles entre les terrains de sédiment des anciennes époques géologiques et ceux qui se forment depuis la configuration actuelle des continents.

Les dépôts sédimentaires formés sous nos yeux par érosion et transport comprennent : 1° des graviers, des cailloux roulés et des sables composés des débris des roches les plus résistantes, telles que les roches quartzeuses ou feldspathiques ; 2° des limons et des argiles formés par les éléments les plus triturés et par des silicates alumineux.

Lorsque les débris des roches de transport sont en galets assez volumineux, on distingue facilement les roches constituantes et même les provenances de ces roches. Ainsi, dans les alluvions anciennes de la Seine, on trouve en abondance des galets siliceux et calcaires, qui ont évidemment pour origine les terrains traversés par ce fleuve et ses affluents ; on y trouve également des galets granitiques qui appartiennent aux roches du Morvan et de la vallée de l'Yonne. Dans la vallée du Rhône, et jusque parmi les galets des plaines de la Crau, on reconnaît presque toutes les roches dures des Alpes.

Quant aux silicates alumineux, qui sont la base des limons et des argiles, ils sont dus soit à la destruction immédiate des roches argileuses préexistantes, soit à la décomposition des roches feldspathiques.

Outre les roches de transport, nous voyons s'en former d'autres par la précipitation de diverses substances dissoutes dans les eaux. Ainsi certaines eaux déposent des concrétions calcaires; d'autres, des concrétions siliceuses; d'autres encore, en s'évaporant, abandonnent des sels solubles, tels que le sel gemme ou le carbonate de soude. Ces divers éléments, tantôt se déposent isolément, et tantôt se mêlent aux sédiments produits par érosion et transport, dont ils agrégent les débris incohérents.

Les dépôts concrétionnés, résultats de précipitations chimiques, se remarquent souvent autour des sources minérales ou thermales. Telles sont les sources de Sainte-Allyre, en Auvergne, de Carlsbad, etc., qui incrustent de sédiment calcaire tout ce qui est soumis à leur contact, et abandonnent, en coulant sur le sol, des concrétions qui finissent par constituer des masses rocheuses assez considérables. Les eaux de Sénectaire, en Auvergne, déposent des concrétions siliceuses. Dans beaucoup d'autres sources minérales, il se produit du fer hydroxydé.

Lorsqu'on cherche à apprécier l'intensité de ces phénomènes, on les trouve généralement très-faibles et très-lents; mais, lorsqu'on en examine les résultats, on est étonné de l'importance des masses minérales auxquelles des actions si lentes ont pu donner naissance. Sous ce rapport, il n'est pas de fait plus important à étudier que celui des dépôts et incrustations madréporiques.

Les polypiers abondent dans certaines mers, surtout dans le grand océan Pacifique. Ils se sont développés sur tous les fonds qui leur offraient des circonstances convenables de niveau et de température, en sécrétant une matière calcaire qu'ils empruntent aux eaux de la mer, et dont le volume s'accroît par la succession de leurs générations; ces concrétions sont connues sous la dénomination de *madrépores*.

Cette action si lente a suffi pour engendrer des masses considérables; des îles innombrables se sont élevées au-dessus du niveau de la mer, et les terres émergées se sont bordées de récifs et d'îles madréporiques.

Les polypiers incrustants sont concentrés dans une épaisseur d'eau peu considérable; à 30 ou 40 mètres de profondeur ils ne peuvent plus exister, et, lorsqu'ils sont arrivés à fleur d'eau, c'est le mouvement de la mer qui exhausse leur niveau, en détachant et poussant des débris que les lames entassent suivant certaines lignes. Le niveau des débris madréporiques peut être ainsi élevé de 5 à 6 mètres au plus au-dessus de la mer, et il est clair que, si les eaux de la mer Pacifique venaient à se retirer, les madrépores fourniraient un plan de repère horizontal, indiquant l'ancien niveau qu'elles occupaient.

Si au contraire, les eaux restant en place, le sol était bouleversé par des soulèvements, il résulterait du surexhaussement des madrépores au-dessus du niveau nécessaire à leur développement, et de l'inclinaison plus ou moins forte de leurs bancs, des indications nombreuses qui viendraient attester les bouleversements subis par le sol.

Ajoutons donc aux dépôts sédimentaires que nous voyons se former sous nos yeux les roches calcaires, formées par précipitation chimique ou par l'action des polypiers.

Nous pourrions de même, pour faire apprécier l'importance et le mode de formation d'autres dépôts, citer quelques exemples de concrétions siliceuses produites par certaines eaux minérales, notamment sur les côtes de l'Islande, où des geysers sous-marins abandonnent des éléments siliceux. Enfin, dans certains cas, l'évaporation des eaux d'un lac ou d'un marais laisse à la surface du sol divers sels solubles, tels que le sel gemme, qui se dépose autour de quelques lacs de l'Algérie, le natron déposé par plusieurs lacs d'Égypte, l'azotate de soude qui existe dans des eaux stagnantes de l'Amérique méridionale. Ces dépôts, assez limités dans leur étendue et dans leur puissance, font cependant concevoir la possibilité d'amas plus épais

formés par l'évaporation de masses d'eau plus considérables.

Les roches sédimentaires, celles surtout qui sont dues à des dépôts très-lents, comme les limons et les argiles dont les éléments tenus en suspension dans les eaux des mers ont été abandonnés sur le fond, comme les concrétions calcaires lentement précipitées des eaux où elles étaient dissoutes, sont caractérisées par des débris organiques appartenant aux polypiers, mollusques et poissons qui ont vécu dans les eaux au fond desquelles elles se sont déposées. Ces roches contiennent encore des débris d'animaux terrestres dont les corps ont été charriés dans les bassins de dépôt.

Ces débris, plus ou moins conservés, constituent ce que l'on appelle les *Fossiles*.

Dans certains cas même, des débris végétaux se mêlent à ceux des animaux.

Ces fossiles végétaux ont été produits de plusieurs manières : parfois ce sont des empreintes fournies par les plantes qui ont été moulées dans les roches argileuses ou calcaires, mais, le plus souvent, il y a eu décomposition partielle, et le carbone, isolé par cette décomposition, s'est accumulé en dépôts noirs dans lesquels on reconnaît encore des traces du tissu végétal. La tourbe qui se forme dans certains marécages fournit un exemple de cette demi-conservation des végétaux.

Lorsqu'une lame d'eau de peu d'épaisseur, stagnante ou animée d'un mouvement très-lent, couvre des plaines basses, il se développe sur le fond de ces marécages une végétation aquatique souvent très-active. Les feuilles, les poussières, les bois flottants qui s'amoncellent à la surface, les végétaux qui viennent s'y étendre et s'y entrelacer, ne tardent pas à former un véritable sol, superposé aux eaux, et sur lequel croissent des végétaux terrestres dont les racines vont se mêler aux tiges des végétaux aquatiques. Ce développement de plantes et ce feutrage végétal s'augmentent chaque année ; les parties qui meurent tombent au fond, et l'ensemble ne tarde pas à subir cette demi-décomposition que l'on peut appeler le tourbage des

végétaux. Il en résulte des débris charbonneux, bruns ou noirâtres, qui finissent par former une véritable couche sur le fond de la tourbière, tandis que la superficie se couvre d'arbres et présente ce caractère de sol élastique et sonore, bien connu de ceux qui ont parcouru les vastes tourbières de la Hollande.

Si l'on suppose maintenant qu'une inondation d'eaux chargées de sables et de limons vienne à couvrir la tourbière, les grands arbres seront renversés, la tourbe et les débris végétaux de toute espèce seront enfouis, et la couche de tourbe sera recouverte d'une couche de sable ou d'argile. Si le premier état de choses se rétablit ensuite, il pourra se produire des alternances de tourbe et de roches de transport, phénomène que nous voyons sur beaucoup de points.

Cet aperçu rapide sur la formation des dépôts par les causes actuelles démontre combien les phénomènes sédimentaires sont variés et peuvent produire des roches dont les caractères sont différents.

Si maintenant on examine avec attention les roches qui constituent la plus grande partie de l'écorce terrestre accessible à nos recherches, soit que l'on suive les vallées creusées dans les pays montagneux, soit que l'on interroge les excavations artificielles, on reconnaîtra que ces roches ont en général beaucoup d'analogie avec celles dont nous venons d'indiquer la formation par les causes actuelles.

La plupart sont stratifiées en couches distinctes ; leur composition est tantôt celle de roches de transport et d'agrégation, telles que sables et cailloux roulés, grès, poudingues et argiles; tantôt celle de roches de précipitation chimique, telles que calcaires ou quartz. Ces diverses couches alternent entre elles et forment des épaisseurs considérables ; quelques-unes contiennent des fossiles, qui rappellent plus ou moins les espèces de l'époque actuelle et confirment l'origine sédimentaire de l'ensemble.

Ce premier examen conduit donc à conclure que les masses continentales aujourd'hui émergées au-dessus du niveau des

eaux ont été recouvertes pendant les périodes géologiques précédentes, et qu'elles ont été formées par des actions analogues à celles de la période actuelle.

La grande différence que nous trouvons entre les roches sédimentaires de notre époque et celles des anciennes périodes géologiques, c'est que, dans beaucoup de cas, elles ne sont pas horizontales; leurs lignes de stratification se présentent sous toutes les inclinaisons. Tantôt les angles sont à peine sensibles, et d'autres fois ils dépassent 45°. La même couche offre les inclinaisons les plus variables, et il en est de tellement contournées, que leur section figure des espèces de festons ou de zigzags.

Ces caractères, si éloignés des conditions de formation des dépôts actuels, amènent naturellement cette conclusion : les anciennes couches sédimentaires ont été primitivement horizontales, puis soulevées et amenées par des bouleversements dans les positions où nous les voyons aujourd'hui.

Cette hypothèse est appuyée par un grand nombre d'observations, dont quelques-unes sont puisées dans la structure et la composition des couches elles-mêmes.

C'est d'abord l'analogie probable des causes anciennes avec les causes actuelles, analogie qui doit exclure la possibilité de résultats aussi différents; c'est ensuite la position des fossiles, si abondants dans certaines couches, et que leur juxtaposition et leur conservation assimilent si complétement aux bancs de mollusques qui existent aujourd'hui dans la mer. Sans aucun doute, ces fossiles ont, dans les temps passés, occupé une zone horizontale et pourtant on les trouve aujourd'hui à des niveaux qui, dans un très-court espace, varient de plusieurs centaines de mètres.

Ajoutons que, dans les couches en stratifications inclinées, on découvre une multitude de cassures, de failles et de déformations qui attestent les bouleversements qui les ont affectées. Enfin on trouve des preuves de l'horizontalité première jusque dans le détail de la composition des roches. Ainsi certaines

couches observées dans les Alpes sont principalement formées de galets ovoïdes comme ceux des mers actuelles ; or ces galets sont placés précisément comme s'ils avaient été déposés sur le plan de stratification primitivement horizontal. Les grandes coquilles, dont les formes plates ou allongées déterminent à l'avance les conditions de dépôt, se trouvent également placées dans les couches de façon à en démontrer l'horizontalité première.

Les études ultérieures apporteront de nouvelles preuves de cette horizontalité première des dépôts sédimentaires, en indiquant la nature des phénomènes qui ont pu déterminer de pareilles dislocations et créer des continents et des montagnes là où il existait autrefois des mers profondes.

ACTIONS VOLCANIQUES.

Sur plusieurs points du globe, il se produit des phénomènes particuliers dont l'action ignée et intermittente contraste avec l'action sédimentaire et continue des eaux : ce sont les phénomènes volcaniques.

L'action volcanique se manifeste par des tremblements de terre qui agitent subitement la surface du sol ; par des soulèvements et affaissements de certaines parties de cette surface ; par des éruptions ou émissions de roches fondues ; enfin par des phénomènes de détail, tels que les sources minérales et thermales, les jets de vapeurs et les émanations des solfatares.

Les volcans sont des montagnes ou des groupes de montagnes qui présentent un ou plusieurs cratères ou orifices par lesquels s'échappent les émanations volcaniques. Au fond de ces cratères, on aperçoit souvent des roches en fusion qui oscillent, et à la surface desquelles viennent crever des ébullitions gazeuses qui projettent avec explosion des roches scorifiées, des pouzzolanes et des cendres. A certaines époques il se produit des éruptions, c'est-à-dire des émissions de laves qui sont

rejetées à la surface et coulent à des distances plus ou moins considérables.

Un volcan a généralement la forme d'un cône plus ou moins

Fig. 3.

régulier, tronqué et terminé à sa partie supérieure par un cratère plus ou moins profond. La figure 3 représente le Cotopaxi, volcan des Andes Cordillères, dont le cône s'élève au-dessus de la limite des neiges perpétuelles.

Certains volcans ont une action permanente; tel est celui de Stromboli, qui projette presque constamment des scories et des roches incandescentes; mais la plupart subissent, après des éruptions violentes, des intervalles de repos pendant lesquels leur activité se borne à l'émission de gaz et de vapeurs. L'éruption d'un volcan paraît être d'autant plus violente que le temps de son repos a été plus long. Lorsqu'en 1779 eut lieu la grande éruption du Vésuve qui causa tant de ravages, ce volcan semblait complétement éteint ; il paraîtrait même que son cône actuel n'existait pas.

Digitized by Google

Dans toutes les contrées volcaniques, on rencontre des volcans éteints, en ce sens qu'ils n'ont donné aucun signe d'activité depuis les temps historiques. Il en existe même dans des contrées qui semblent aujourd'hui tout à fait en dehors de ces actions, tels sont les cônes volcaniques de la chaîne des monts Dômes, en Auvergne, et de l'Eiffel, dans la Prusse rhénane, qui présentent de nombreux cratères et sont entourés des laves qu'ils ont autrefois déversées.

On compte, sur toute la surface du globe, au moins deux cents volcans ou centres volcaniques en activité. Leurs cônes s'élèvent quelquefois à de grandes hauteurs. Ainsi le Vésuve a 1198 mètres de hauteur et l'Etna 3237 mètres ; le pic de Ténériffe atteint 3710 mètres, et cette hauteur considérable est encore dépassée par celle des volcans qui forment les principales sommités des Andes Cordillères, tels que le Cotopaxi, élevé de 5753 mètres, l'Antisana de 5833 mètres, etc.

Les actions volcaniques donnent naissance à des masses minérales dont les caractères sont tout particuliers.

Ce sont d'abord les montagnes volcaniques elles-mêmes, composées de cendres, de scories, de blocs, de laves rejetés par les cratères. Un cône principal et central, comme celui de l'Etna, est souvent entouré d'un grand nombre de cônes à cratères de moindre importance, dont chacun représente une éruption latérale particulière. Autour de ces volcans, le sol est exclusivement formé de déjections volcaniques et de laves qui ont parfois coulé à de grandes distances, et dont les épaisseurs superposées, alternant avec des accumulations de cendres et de scories, atteignent des puissances considérables. En 1783 et en 1845, l'Hécla a vomi des laves qui s'étendirent à 75 et 95 kilomètres de distance; leur épaisseur s'éleva, en plusieurs points, à plus de 100 mètres, et l'un de ces courants de lave représente environ 50 kilomètres cubes.

Les émissions de laves n'atteignent que rarement de pareilles proportions, mais leur succession suffit pour en entasser des masses considérables. Les éruptions pulvérulentes elles-mêmes

peuvent apporter des changements notables à la surface du sol. Ainsi le Vésuve a plusieurs fois couvert les contrées environnantes d'une épaisseur de cendres de plusieurs mètres. Le volcan de Coseguina, dans l'État de Guatemala, eut, en 1835, une éruption pulvérulente si énergique, que tout le pays fut couvert de cendres et que des navires en furent atteints à plus de 400 kilomètres en mer.

Il existe aussi des volcans sous-marins dont l'action s'est fréquemment manifestée au-dessus de la surface des eaux. En 1783, une éruption eut lieu à plusieurs lieues des côtes d'Islande et couvrit la mer d'une quantité de ponces si prodigieuse, qu'elles s'étendirent jusqu'à une distance de 200 kilomètres. En 1831, on vit apparaître une île nouvelle vers les côtes de Sicile, au milieu de tourbillons de vapeurs et de flammes. Lorsque l'éruption fut calmée, on reconnut une montagne de plus de 100 mètres d'élévation, composée de déjections volcaniques accumulées autour d'un cratère central. Cette île, formée de roches incohérentes et incessamment battue par les flots, ne tarda pas à disparaître.

Indépendamment de ces phénomènes qui changent les conditions de composition et de forme de la surface du globe, les contrées volcaniques présentent des cas assez nombreux de soulèvements et d'affaissements du sol.

Ces soulèvements ont des caractères assez variables. Quelquefois le sol a été bombé de manière à atteindre le maximum de soulèvement vers un centre qui s'est fracturé et qui a donné issue aux actions volcaniques ; telle est l'origine du volcan de Jorullo, au Mexique.

Le Jorullo occupe une plaine, autrefois cultivée, et arrosée par le Cuitamba et le San-Pedro. Cette plaine fut soulevée en 1759, sur une étendue de quatre milles carrés et suivant le profil ci-joint. Il se forma au centre, après deux mois d'éruptions, plusieurs cônes volcaniques, dont le principal est le Jorullo, élevé de plus de 500 mètres, et, sur la surface bombée qui l'entoure, il se produisit des centaines de petits cônes, dits

Digitized by Google

hornitos, qui émettent des vapeurs. La partie centrale de cette plaine a été soulevée à une hauteur de 160 mètres au-dessus de son premier niveau.

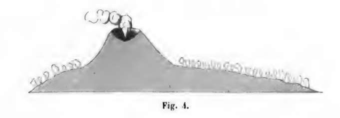


Fig. 4.

Les tremblements de terre, qui accompagnent presque toujours les éruptions volcaniques, proviennent évidemment des mêmes causes. Ces commotions précèdent ordinairement l'éruption, et, lorsque celle-ci a eu lieu, lorsqu'elle a violemment expulsé les vapeurs, les cendres, les laves et les matières scoriacées, tout rentre dans le calme, comme si le volcan avait fait, en quelque sorte, fonction d'une soupape de sûreté.

Il arrive cependant aussi que les tremblements de terre se produisent isolément et sans l'intervention des phénomènes volcaniques proprement dits. Tel fut celui qui détruisit Lisbonne en 1755 et se fit sentir dans beaucoup d'autres contrées. Le sol s'entr'ouvrit dans la vallée du Tage, engloutit les eaux du fleuve, puis, se refermant avec violence, les projeta au-dessus des niveaux les plus élevés qu'elles eussent jamais atteints. Les eaux de la mer éprouvèrent aussi, sur les côtes, les mouvements les plus violents; elles se retirèrent en laissant une partie des côtes à découvert et revinrent ensuite les couvrir de vagues immenses. Ces effrayantes perturbations laissent moins de traces que les phénomènes volcaniques, mais elles causent des ravages bien plus sensibles.

Les Calabres, souvent agitées par les tremblements de terre, ont été le théâtre de nombreux phénomènes de fracture du sol, d'affaissements et de soulèvements.

La côte du Chili a subi, en 1823, des perturbations analo-

Digitized by Google

gues; sur certains points, elle a été soulevée de plusieurs mètres, et l'on peut y observer des terrasses, marquées par des débris de coquilles et par les traces de l'action de la mer, élevées aujourd'hui bien au-dessus de son niveau. Une baie située dans l'île de Santa-Maria et dans laquelle les navires pouvaient autrefois pénétrer sans péril est devenue impraticable par l'exhaussement de son fond et l'apparition de nombreux écueils.

Sur beaucoup de côtes volcaniques, et notamment celle de Pouzolles, on a également observé des faits nombreux, qui attestent les oscillations du sol, à la suite de tremblements de terre et de commotions volcaniques.

On doit encore rapporter aux actions volcaniques les sources thermales, minérales, et les sources gazeuses qui émettent des vapeurs d'eau, de l'acide carbonique, de l'acide sulfureux ou sulfhydrique.

Parmi ces phénomènes, citons les *geysers* de l'Islande, sources intermittentes d'eau bouillante et de vapeurs d'eau qui s'élancent à des hauteurs considérables et déposent autour d'elles des concrétions siliceuses. Citons également les *soffioni* de la Toscane, jets de vapeur d'eau, qui sortent avec bruit du sol crevassé et qui sont tellement chargés d'acide borique, qu'on a pu y établir une exploitation de cet acide. Ces sources thermales et gazeuses non-seulement se rencontrent dans les pays volcaniques, mais y sont plus fréquentes et plus énergiques que dans tout autre; elles doivent être évidemment considérées comme des émanations indirectes et plus éloignées des mêmes actions souterraines.

Lorsqu'un volcan cesse de donner lieu à des éruptions, il passe généralement à l'état de *solfatare*, c'est-à-dire qu'il n'émet plus que des vapeurs, parmi lesquelles celles du soufre et de l'acide sulfureux jouent souvent le rôle le plus apparent. La solfatare de Pouzzoles, celle de Vulcano et celle de la Guadeloupe sont des volcans éteints.

Lorque les phénomènes volcaniques se sont fait jour à travers des roches antérieures, ils ont exercé sur elles des modifi-

cations et des actions minéralogiques très-variées, et leur ont imprimé de nouveaux caractères d'aspect et de composition. Ces roches modifiées sont ce que l'on appelle des *roches métamorphiques*.

Les roches soumises au contact des laves et des vapeurs à haute température sont généralement devenues plus compactes et plus cristallines; elles ont été pénétrées de principes adventifs nouveaux, qui ont donné lieu à des espèces minérales particulières, cristallisées dans les fissures et les géodes. Lorsque ces modifications ont été énergiques, il en est résulté une transformation complète de tous les caractères minéralogiques; lorsque, au contraire, elles ont été faibles et indirectes, elles n'ont produit que peu d'altérations, et il est facile de reconnaître le type primitif des roches.

Il en est des actions volcaniques comme des actions sédimentaires; celles de l'époque actuelle sont les derniers termes d'une série de phénomènes qui, à toutes les époques géologiques, ont amené des roches éruptives à la surface, produit des soulèvements, métamorphosé les roches préexistantes et laissé sur la surface du globe les traits géologiques les plus caractérisés.

Les roches éruptives anciennes se retrouvent, en effet, intercalées dans tous les terrains, en masses bien plus considérables que celles qui sont produites de nos jours.

Ces roches sont faciles à reconnaître par leur composition et les formes de leurs masses. Leur compositition en feldspaths, pyroxènes, amphiboles, etc., leur tissu cristallin, l'absence de stratification, enfin leurs contours massifs en pitons éruptifs ou en dykes qui coupent les roches préexistantes, sont autant de traits caractéristiques qui les distinguent des roches sédimentaires. Les circonstances de leur gisement dévoilent les analogies les plus frappantes avec les roches actuellement produites par les actions volcaniques, de telle sorte que les caractères de composition, de forme et de gisement se réunissent pour faire considérer les granites, les porphyres, les serpentines, les trachytes, les basaltes, comme les roches éruptives des périodes passées.

Formation des montagnes. — Si, dans une contrée volcanique et sur les flancs d'une montagne dont le centre serait occupé par un volcan, brûlant ou éteint, nous trouvions des couches alluviales soulevées à des hauteurs considérables, et dont les strates présenteraient des inclinaisons incompatibles avec leur mode de formation, nous n'hésiterions pas à déclarer que ces couches, autrefois horizontales et submergées, ont été amenées dans cette position anomale par les phénomènes éruptifs. Il en doit être de même pour les roches sédimentaires des anciennes périodes géologiques. Lorsque nous les verrons redressées, sous des angles considérables, soulevées à de grandes hauteurs et constituant des montagnes; lorsque nous aurons reconnu que leurs points culminants sont formés par des granites, des porphyres, des serpentines, des trachytes ou des basaltes, nous serons conduits à considérer ces points comme des centres de soulèvement, et les roches éruptives qui les constituent comme ayant déterminé, dans les dépôts sédimentaires, les phénomènes d'altitude et d'inclinaison dont aucune autre hypothèse ne pourrait rendre compte.

Telle est la disposition que présentent la plupart des chaines ou groupes de montagnes.

Dans les groupes du Cantal, du Mont-Dore et du Mezenc, traits principaux du relief de la France centrale, les roches éruptives occupent les points culminants de chaque groupe, et les roches sédimentaires stratifiées sont relevées autour d'elles comme vers des centres de soulèvement.

Dans les chaines de montagnes, telles que les Alpes, les Pyrénées, etc., les roches éruptives forment l'axe culminant, axe minéralogique, de chaque côté duquel on retrouve la série symétrique des terrains sédimentaires, à travers lesquels les éruptions se sont fait jour.

Pour bien comprendre la structure physique des groupes et des chaines de montagnes, il faut se reporter à l'origine que nous leur supposons et se rendre compte de tous les mouvements qui ont dû se produire par suite des soulèvements.

Digitized by Google

Cratères de soulèvement. — Que l'on suppose une épaisseur de roches stratifiées, dont les couches, sensiblement horizontales, tendent à être soulevées en un point par une force agissant de bas en haut. Le point sur lequel agira cette force sera d'abord élevé autant que le permettra l'élasticité des roches; mais, lorsque l'élévation sera telle, que les couches distendues ne pourront plus couvrir la surface devenue trop convexe, il se produira des ruptures. Ces ruptures détermineront nécessairement une disposition constante; elles produiront un étoilement, c'est-à-dire une série de cassures convergentes vers le point de soulèvement et laissant par l'écartement des parties soulevées un vide ou cratère dans le centre. C'est ce que l'on appelle un *cratère de soulèvement*. La région centrale de ce cratère sera occupée par les roches éruptives lorsqu'elles auront percé jusqu'au jour.

Les exemples de ces cratères sont nombreux : le Cantal, le Mont-Dore et le Mezenc, en France, se rapportent à ce mode de formation. Parmi les volcans modernes beaucoup occupent ainsi le centre d'un cratère de soulèvement; tel est le pic de Téné-

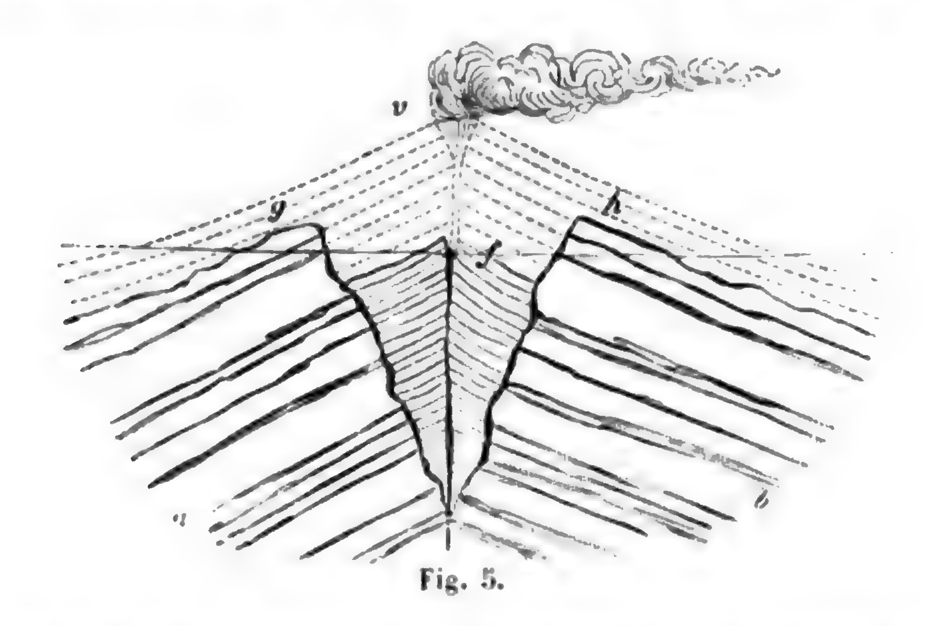


Fig. 5.

riffe, dont le cône volcanique est entouré d'une enceinte semi-circulaire, étoilée par une série de vallées divergentes.

Tel est le Vésuve dont le cône est entouré par la montagne semi-circulaire de la Somma.

La figure 5 indique les dispositions que peuvent présenter les volcans qui se sont ainsi fait jour en soulevant les dépôts stratifiés. Les couches soulevées et rompues sont indiquées en *a*, *b*, *g*, *h* : le volcan *f* surgira au centre d'une dépression cratériforme plus ou moins régulière, toutes les fois que son cône ne dépassera

Fig. 6.

pas les couches soulevées, tandis que, d'autres fois, ses accumulations, s'élèvant jusqu'en F, recouvriront les roches soulevées.

Digitized by Google

Cette origine est plus difficile à constater lorsque les roches soulevantes ne se sont pas fait jour au centre du cratère.

Telle est la disposition que présente l'île de Palma. Un vaste cirque, appelé *caldera*, forme la partie centrale de cette île; il est profondément encaissé par les bords escarpés du cratère qui s'abaissent par des pentes régulières vers la mer, en formant un cône surbaissé, sillonné par les vallées rayonnantes qu'a produites l'étoilement du sol.

La carte de l'île de Palma (fig. 6), dressée et présentée par M. de Buch à l'appui de sa théorie, est l'exemple le plus expressif de la structure d'un cratère de soulèvement.

On trouve ce type de soulèvement modifié par une multitude de circonstances, qui dépendent d'abord de l'altitude à laquelle les bords du cratère ont été relevés et de la surface sur laquelle le bombement s'est réparti; ensuite, des inégalités préexistantes du sol soulevé; puis, enfin, des érosions et des altérations subies par le cratère depuis l'époque de son soulèvement. La présence ou l'absence des roches ignées soulevantes au centre du cratère, leur développement plus ou moins considérable en altitude et en étendue, lui donnent aussi des physionomies très-diverses. Néanmoins le type, une fois bien compris, se reconnait même dans les ébauches les plus imparfaites et les plus altérées.

Chaines de montagnes. — Beaucoup de chaines de montagnes ont, par leurs formes, leur structure et leur composition, la plus grande analogie avec les cratères de soulèvement.

Les roches éruptives en constituent généralement la ligne de faîte, et, de chaque côté, les roches sédimentaires sont soulevées et rompues de manière à déterminer des crêtes et des vallées longitudinales, c'est-à-dire parallèles à l'axe. Cette rupture linéaire des roches soulevées a la même origine dans les chaines de montagne que les vallées circulaires et centrales dans les cratères de soulèvement; seulement, le phénomène, au lieu de s'être produit sur un point, s'est produit suivant une ligne.

Les grandes Alpes de la Savoie, dont le massif du mont Blanc forme les sommités, peuvent être considérées comme représen-

tant les diverses parties d'un immense cratère de soulèvement longitudinal, au centre duquel les masses éruptives et soulevantes ont été portées à des hauteurs bien plus considérables que celle des arêtes rompues et soulevées.

Les masses éruptives et soulevantes sont représentées par le massif du mont Blanc, chaîne centrale et culminante, qui, lorsqu'on l'examine de la vallée de Chamonix (planche I), présente une arête linéaire dont toutes les sommités sont formées par les granites et les protogines. Les deux vallées qui entourent ce puissant massif d'éruption sont les dépressions cratériformes, encaissées sur les côtes opposées par les relèvements des roches sédimentaires.

Les roches soulevées qui encaissent les vallées de chaque côté du massif du mont Blanc semblent représenter les bords d'une boutonnière à travers laquelle serait sortie la masse culminante.

La disposition des relèvements montagneux du côté du Brevent, d'où la vue de la planche I a été prise, indique en quelque sorte les mouvements qui ont dû se produire dans les couches rompues. Elles ont été soulevées de manière à présenter des escarpements abrupts vers le massif éruptif, et des pentes adoucies vers l'extérieur.

Les chaînes de montagnes affectent presque constamment des dispositions analogues; les dépôts sédimentaires soulevés parallèlement à l'axe éruptif et culminant tendent à y former des arêtes parallèles à cet axe, et, par conséquent, des lignes de montagnes de second et troisième ordre, produites par les relèvements imbriqués des terrains.

Les eaux sont encore venues accuser davantage ces dispositions en creusant leurs vallées entre deux formations différentes. Il est rare, en effet, que les vallées profondes n'aient pas pour origine principale la configuration déterminée par les soulèvements, origine attestée par les mouvements et allures de la stratification, par les cassures, les failles et tous les témoignages de perturbation qu'elles présentent si souvent.

Ainsi, dans les vallées du Jura, le sol présente des ondula-

tions que suit le ploiement des couches soulevées, de telle sorte que les vallées aussi bien que les montagnes qui les encaissent peuvent être appelées ***vallées*** ou ***montagnes de plissement***. Les vallées ouvertes perpendiculairement à la direction des couches sont généralement des vallées de fracture, sur les escarpements desquelles on voit la tranche des couches brisées et ployées (fig. 7). Parmi les vallées qui suivent la direction des couches, celles qui sont dues à des ploiements ne présentent guère que les assises supérieures du terrain; mais quelquefois le terrain ainsi ployé s'est rompu et a donné naissance à des ***vallées de fracture*** suivant la direction des couches, sortes de cratères longitudinaux, dus au soulèvement et à la rupture d'un certain nombre d'assises.

La figure 7 indique le mode de formation de ces vallées longitudinales par le plissement ou la rupture des couches, dispo-

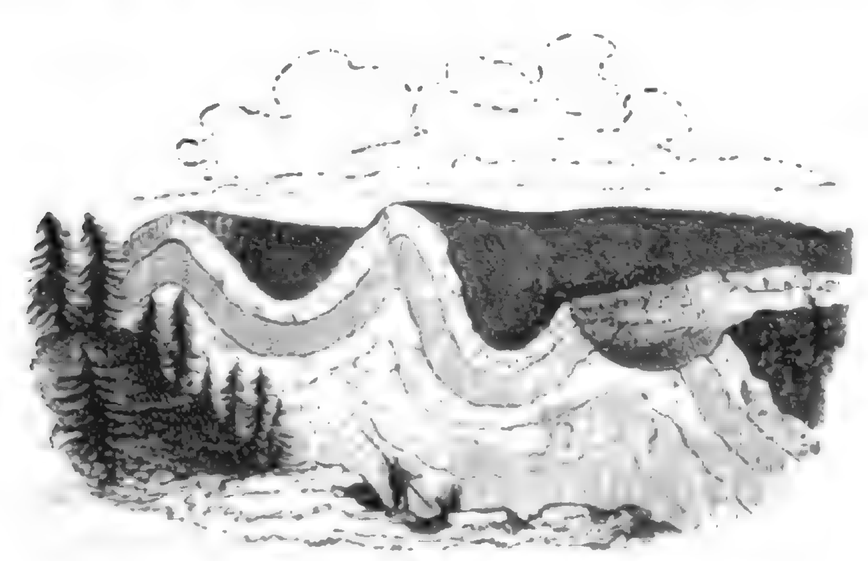


Fig. 7.

sitions fréquentes dans les montagnes du Jura, où les habitants distinguent les vallées de fracture transversales et perpendiculaires à la direction des couches sous le nom spécial de *cluses*.

Le Rhin, d'abord encaissé d'un côté par les Vosges, et, de l'autre, par les montagnes de la Forêt-Noire, coule ensuite dans une vallée large et profonde ouverte dans les grès secondaires, sur les bords de laquelle les roches qui en forment le fond se

relèvent par des cassures ou failles jusqu'à des niveaux supérieurs. Cette vallée est également une *vallée de fracture.*

Dans les contrées accidentées, la plupart des vallées présentent les caractères des vallées de fracture, caractères qui résultent des formes escarpées de leur encaissement, et surtout des dispositions anomales de la stratification. Il n'est pas de disposition de ploiement ou de rupture des couches dont on n'y rencontre des exemples, et, lorsque les roches éruptives sont visibles, leur position vient presque toujours démontrer que leur sortie doit avoir déterminé les traits les plus caractérisés du mouvement.

Par les nombreux exemples que l'on peut étudier dans les Alpes, les Pyrénées, les Vosges, le Jura, etc., on voit que les roches sédimentaires jouent un rôle important dans les chaînes ou groupes de montagne. Elles y apparaissent soulevées et disloquées par les roches éruptives, qui se sont fait jour elles-mêmes jusqu'à la surface et constituent des centres ou axes de soulèvement plus ou moins apparents.

Lorsque les montagnes présentent ainsi, dans leur composition, les roches soulevantes et les roches soulevées, on peut en conclure que l'époque géognostique à laquelle elles ont été formées est postérieure au dépôt de toutes les formations sédimentaires relevées sous des inclinaisons incompatibles avec leur mode de formation.

Si en même temps on trouve au pied de ces montagnes des dépôts horizontaux et qui ne présentent aucune trace de bouleversement, on pourra préciser encore mieux l'époque du soulèvement ; il aura nécessairement eu lieu entre le dépôt des roches accidentées et celui des roches sédimentaires horizontales. Telle est l'idée théorique que M. Élie de Beaumont a appliquée de manière à fixer l'époque géognostique du soulèvement de toutes les grandes chaînes du globe.

Les montagnes ne présentent pas toujours cette composition mixte, et les roches ignées constituent souvent de grandes masses isolées qui doivent leur origine à des éruptions. Ainsi

Vue du Chimborazo et du Carguairazo
d'après M.r de Humboldt

la grande chaine des Andes Cordillères est surmontée, de distance en distance, par de grandes masses coniques dont l'origine est évidemment ignée.

Le Chimborazo et le Carguaraizo, représentés (planche II) d'après les dessins de M. de Humboldt, sont des exemples de ces masses montagneuses, surajoutées par les phénomènes volcaniques des anciens temps géologiques, aux montagnes déjà formées par les soulèvements.

Ces montagnes, purement éruptives, sont caractérisées par leur composition, leur isolement et leurs formes régulières. Elles rappellent souvent les formes coniques des volcans modernes, et beaucoup d'entre elles servent encore aujourd'hui de bouches aux actions volcaniques qui s'y sont frayé un passage.

Enfin, des actions volcaniques anciennes, identiques à celles qui agissent aujourd'hui, ont aussi créé de véritables montagnes. On ne peut en citer d'exemple plus frappant que celui de la chaine des Puys en Auvergne. Cette chaine comprend plus de cinquante cônes volcaniques alignés suivant une même direction, dont un grand nombre présente des cratères, et qui ont déversé autour d'eux des courants de laves (planche IV). Ces cônes à cratères composés de déjections volcaniques identiques à celles des volcans actuels, ces courants de laves qui sortent des cratères en partie égueulés et qui descendent dans les vallées en conservant l'empreinte du mouvement, sont les exemples les plus expressifs des actions éruptives exercées pendant les périodes antérieures aux temps historiques et même au creusement d'une partie des vallées actuelles.

En résumé, les roches éruptives apparaissent comme constituant des masses spéciales, souvent culminantes, et comme résultant d'une force expansive qui a soulevé les chaines de montagnes et tracé la géographie de notre globe.

C'est la même force qui, déplaçant les mers à plusieurs reprises, a déterminé la génération des puissants dépôts sédimentaires qui couvrent aujourd'hui l'écorce terrestre; c'est elle encore qui, déversant les roches ignées à la surface, par

Digitized by Google

une série d'actions intermittentes, a bouleversé la position normale de ces dépôts, et en a modifié les caractères minéralogiques en produisant les roches métamorphiques. Enfin, c'est elle qui, pendant toute la série des périodes géologiques, a fracturé le sol et rempli les cassures par des émanations analogues à celles des solfatares, formant ainsi des filons remplis de minéraux spéciaux parmi lesquels les minerais jouent un rôle important.

Origine des roches éruptives. — Cherchons maintenant quelle est cette force qui a réagi sur la surface du globe pendant toute la série des temps géologiques, et qui a déterminé les traits si variés de sa composition et de sa configuration.

Les actions volcaniques se manifestent dans toutes les parties du globe. On leur reconnaîtra un caractère de généralité complet si l'on rapporte à la même origine les volcans éteints, les roches éruptives des anciennes périodes géologiques, et les phénomènes de fractures et de soulèvements qui ont accidenté la surface terrestre. De plus, les phénomènes que nous attribuons à ces actions souterraines ont présenté, à toutes les périodes comme pendant la période actuelle, un caractère remarquable d'uniformité.

Quelle peut donc être la cause de phénomènes aussi généraux et aussi semblables, si ce n'est une cause unique, générale et inhérente à la constitution même du globe terrestre?

Nous ne connaissons, avons-nous dit, que l'écorce terrestre. En effet, la moyenne des hautes montagnes est au-dessous de 4000 mètres, et les travaux des mines les plus profondes atteignent rarement 800 mètres; nos études peuvent donc à peine atteindre plus de $\frac{1}{1500}$ du rayon terrestre. Or les actions volcaniques ont évidemment leur siége bien au-dessous de cette faible épaisseur.

Un fait aujourd'hui bien établi, c'est que l'on trouve la température du globe plus élevée à mesure que l'on pénètre plus profondément vers son centre. Dans les mines et dans les puits artésiens, on a reconnu que cette élévation était en moyenne

d'un degré centigrade par 30 ou 33 mètres d'approfondissement. Si cette loi, vérifiée déjà jusqu'à 600 et 800 mètres de profondeur, se continue à mesure qu'on pénètre vers l'intérieur du globe, les roches doivent être en fusion à la profondeur d'environ 20,000 mètres ; c'est-à-dire que la partie solide du globe ne serait qu'une écorce dont l'épaisseur, comparée au rayon terrestre, en atteindrait à peine la trois centième partie.

Il est donc probable, d'après la concordance de ce fait avec le caractère général des phénomènes volcaniques, que l'intérieur du globe est encore à l'état de fluidité ignée.

Cette hypothèse laisserait encore quelques incertitudes si l'étude de la composition géologique de l'écorce terrestre ne démontrait que, plus on descend des terrains modernes et superficiels vers les terrains plus anciens, plus on trouve des témoignages de cette température élevée et de cette fluidité.

Il est d'ailleurs un fait important qui doit être rappelé ici : le globe terrestre n'est pas exactement sphérique ; c'est un ellipsoïde renflé vers l'équateur et légèrement aplati vers les pôles. La différence des deux axes est de $\frac{1}{305}$. Or, si l'on suppose une sphère fluide de même diamètre et de même densité que le globe terrestre, animée du mouvement de rotation qu'il effectue en 24 heures autour de son axe polaire, la force centrifuge déterminerait entre les deux diamètres de cette sphère une différence, qui, calculée théoriquement, serait précisément de $\frac{1}{305}$.

Le globe terrestre est donc un ellipsoïde de révolution, que sa forme indique avoir été fluide, et dont la fluidité a été évidemment ignée, ainsi que l'attestent les phénomènes volcaniques. Placé dans les circonstances qui ont amené son refroidissement, le globe a été recouvert par une écorce refroidie et solide, sur la surface de laquelle se sont condensées les eaux atmosphériques. C'est l'action de ces eaux, combinée avec les réactions de l'intérieur fluide, qui a déterminé les conditions de forme et de composition que nous avons signalées.

La fluidité intérieure du globe une fois admise, il resterait à expliquer par quel effort les roches ignées sont poussées vers les bouches volcaniques. On a souvent comparé cette réaction à celle qui se produit dans les masses métalliques soumises à un refroidissement brusque : l'enveloppe solide qui se forme à la surface se contracte sous l'influence de l'abaissement de la température, et la masse liquide intérieure s'épanche à la surface par les fissures qui résultent de cette contraction. Il est possible qu'un effet analogue se soit produit pendant les premières périodes du refroidissement terrestre, mais les phénomènes volcaniques actuels paraissent avoir un caractère différent.

Les gaz, dont les masses granitiques, porphyriques, serpentineuses ou trappéennes présentent à peine la trace, jouent aujourd'hui un rôle considérable dans les éruptions des volcans. Ainsi les émissions de scories et de cendres, les fumées abondantes et les laves scoriacées lancées par les explosions gazeuses, sont des faits constants dans les éruptions actuelles. La vapeur d'eau est l'agent principal de ces phénomènes, et, lorsque les laves se déversent sous forme de coulées, elles en sont tellement pénétrées, qu'elles en dégagent jusqu'à leur entier refroidissement. Il semble donc que ces vapeurs ont aujourd'hui une part considérable dans la force qui amène les laves à la surface du globe.

Quelles que soient, au surplus, les variations que présente la série des actions éruptives, toutes ces actions se réunissent pour démontrer que le globe terrestre a été à l'état de fluidité ignée et que le refroidissement n'en a encore consolidé qu'une faible épaisseur.

CHAPITRE II

COMPOSITION DE L'ÉCORCE TERRESTRE. — CLASSIFICATION DES ROCHES ET DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES.

La composition du sol exerce sur l'industrie des populations une influence que nous avons déjà signalée, le premier pas des études géologiques doit donc être de préciser tous les caractères de cette composition.

La minéralogie définit les minéraux considérés isolément, abstraction faite des circonstances de leur gisement, de leur abondance ou de leur rareté, et des relations qu'ils ont entre eux : la géologie, au contraire, ne considère que les masses minérales assez abondantes pour prendre rang parmi les éléments constituants de l'écorce terrestre, c'est-à-dire les *roches*, ou bien encore, celles qui, bien qu'en gîtes adventifs et subordonnés, sont de nature à être exploitées comme minéraux utiles.

La composition du sol se reflète d'abord sur la physionomie des villes par les matériaux qu'elle fournit à leur construction. Les villes granitiques du Limousin, de la Bretagne et du Cotentin ont un caractère bien différent de celui des villes bâties avec les calcaires compactes secondaires de la Bourgogne ou de la Franche-Comté, et celles-ci diffèrent des cités construites avec les matériaux variés que fournissent les terrains tertiaires.

L'abondance d'une roche suffit souvent pour doter un pays d'une industrie spéciale. Les kaolins de Limoges ont naturalisé la porcelaine en France. Dans la Champagne et la Franche-

Comté, les *minerais de fer* ont fait sentir la nécessité de conserver les bois, de les aménager, et développé à la fois les habitudes forestières et l'art tranquille de la fabrication de la fonte; l'agriculture a déjà moins d'importance en Champagne et en Comté que dans les Flandres ou la Normandie.

Dans d'autres pays, l'exploitation des *filons métallifères* a imprimé un caractère tout spécial aux industries et aux mœurs des habitants que les travaux des mines y ont fixés. On trouve encore, autour des mines du Hartz et de l'Erzgebirge, ces populations de mineurs qui conservent comme une religion toutes les habitudes des temps passés.

L'existence de quelques roches propres aux usages artistiques a donné naissance à des qualités rares partout ailleurs. A Carrara, par exemple, tout le monde est sculpteur; tous vivent des carrières de *marbre*, si ce n'est par le fait de l'exploitation, du moins par la mise en œuvre. Les *albâtres* de Volterra et de Castellina, en Toscane, ont aussi développé à un point remarquable le goût de l'ornementation et de l'imitation dans l'art de la statuaire.

De tous ces caractères que fait éclore l'exploitation du sol, aucun n'a plus d'importance que ceux qui résultent de l'abondance des *combustibles minéraux*. La houille est aujourd'hui l'origine d'une activité et d'une richesse immense. Est-elle située près d'un port, une armée de mineurs l'exploite et l'expédie au loin; est-elle placée dans une position intérieure et isolée, elle appelle autour d'elle les fabrications les plus diverses, elle crée les voies de communication.

Voyez, depuis le commencement de ce siècle, naître et grandir Manchester et Saint-Étienne : voyez Swansea, son nom poétique n'est pour rien dans sa prospérité : autrefois, sous son premier patronage, elle était inconnue ; aujourd'hui, c'est la grande ville des fondeurs ; c'est elle qui envoie ses navires doubler le Cap Horn pour rapporter les minerais du Chili ; c'est pour elle, c'est pour enrichir ses lords, que travaillent les nègres de Cuba et les populations libres de Coquimbo ou de

La Paz : et c'est uniquement à la houille qu'elle doit cette puissance.

Caractères généraux des roches. — Les minéralogistes ont reconnu et défini plus de quatre cents espèces minérales, parmi lesquelles vingt à peine entrent dans la composition des roches.

Cependant cette simplicité de composition de l'écorce minérale du globe n'est qu'apparente, en ce sens que ces vingt espèces donnent, en se groupant, naissance à des roches et à des variétés nombreuses.

Le quartz, les feldspaths, les micas, les amphiboles, les pyroxènes, les talcs, la serpentine, la chaux carbonatée, la chaux sulfatée, les argiles, les houilles et les oxydes ou carbonates de fer, tels sont les éléments qui constituent les roches, et qui, isolés ou groupés entre eux, peuvent être considérés comme les éléments de l'écorce terrestre.

A ces minéraux essentiels il faut en ajouter environ quarante qui constituent des substances adventives en gîtes subordonnés et parmi lesquels sont compris les principaux minerais des métaux usuels.

L'étude des roches doit précéder les études géologiques. Cette marche n'est pas toujours celle qui est suivie, et il en résulte une tendance à laisser de côté le point de vue minéralogique de la géologie, pour ne s'appesantir que sur l'étude des fossiles que renferment les dépôts sédimentaires, ou sur les idées théoriques de la formation du globe. La géologie proprement dite perdrait cependant la plus grande partie de son intérêt si l'on négligeait la connaissance exacte des roches, car elle permet seule d'en poursuivre le véritable but, c'est-à-dire de déterminer les relations qui conduisent à grouper ensemble les masses analogues par leurs caractères minéralogiques et leurs minéraux accidentels, d'apprécier et de fixer les circonstances de leur gisement et de leur distribution géographique.

Mais l'étude des roches présente des difficultés réelles par suite de leur multiplicité et de la nomenclature complexe qui sert à les désigner.

Digitized by Google

La multiplicité des roches résulte principalement de ce qu'elles sont des mélanges d'espèces minérales, et que, suivant la proportion de chacune de ces espèces, elles présentent les aspects les plus variés. L'état d'agrégation peut en outre déterminer des apparences et des propriétés très-diverses; enfin, il suffit d'une très-petite quantité d'une substance adventive pour changer les couleurs et l'aspect d'une même roche, ainsi qu'on peut en juger par les marbres. Mais cet exemple des marbres prouve que les difficultés de l'étude des roches sont plus apparentes que réelles; ne les reconnait-on pas avec la plus grande facilité, malgré la mobilité de leur coloration? Ne distingue-t-on pas de même, et sans difficulté, les nombreuses variétés des roches granitiques, quoique la proportion de leurs éléments constituants et leur état d'agrégation soient très-variables? Or, s'il suffit pour acquérir cette connaissance des marbres et des granites, de les avoir eus fréquemment sous les yeux, il est bien plus facile encore de l'acquérir par une étude rationnelle. On se rend compte alors de toutes les variations déterminées par le mélange des espèces minérales; on reconnait comment les roches les plus dissemblables sont réunies par des *passages minéralogiques*, et l'on surmonte en peu de temps les difficultés qui résultent du grand nombre des roches et de leurs variétés.

Quant à la nomenclature, elle ne s'est compliquée que par la multiplicité des noms donnés aux mêmes roches; mais, si l'on se borne à choisir les dénominations les plus usuelles, on arrive à la rendre simple et facile.

Nous avons vu que les roches qui constituent l'épaisseur de l'écorce terrestre accessible à nos investigations doivent se rapporter à deux origines : elles sont éruptives ou sédimentaires. Les actions ignées et sédimentaires ont, en effet, couvert la surface du sol de roches tellement puissantes, que nous ne savons si celles qui formaient la première surface consolidée sont réellement visibles sur quelques points du globe.

Quelle que soit la roche dont se trouve composée une masse minérale, la première question qui se présente est donc celle

Digitized by Google

de son origine. Est-elle sortie du globe par éruption, à l'état fluide ou pâteux, en soulevant et traversant toutes celles qui étaient déjà consolidées et superposées? A-t-elle été déposée dans les eaux par les actions sédimentaires, ou précipitée de leur dissolution sous forme de concrétions?

Cette distinction, si simple au premier abord, est quelquefois rendue douteuse par la présence des roches qui ont une origine mixte. Chaque espèce de roche éruptive est, en effet, accompagnée de roches semi-cristallines et à demi stratifiées, dont les caractères métamorphiques établissent des passages et une sorte de liaison entre les deux classes, si différentes par leur origine et leurs caractères.

ROCHES ÉRUPTIVES.

Les roches éruptives expriment d'une manière directe la composition de l'écorce terrestre.

En effet, tandis que les dépôts sédimentaires qui occupent une place beaucoup plus étendue à la surface du sol résultent d'altérations et de transformations minéralogiques déterminées par des actions superficielles, les roches ignées, émanations directes de l'intérieur du globe, sont comme des échantillons pris dans les zones successivement consolidées qui l'enveloppent. Ainsi les roches éruptives, que nous appelons les plus anciennes, parce qu'elles ont été consolidées les premières et qu'elles ont été traversées par toutes les autres, devaient évidemment former une première enveloppe, de dessous laquelle se dégagèrent successivement celles qui leur sont aujourd'hui superposées. Les roches ignées, que nous appelons les plus modernes, celles qui sont amenées par les phénomènes volcaniques actuels, expriment en réalité la composition des zones les plus inférieures de l'écorce terrestre que nous puissions connaître.

Quel que soit leur âge, les roches ignées ont toutes des caractères spéciaux de composition et de forme.

Leur composition est généralement cristalline, c'est-à-dire qu'elles sont formées de substances, tantôt en cristaux visibles, juxtaposés et enchevêtrés, tantôt en particules cristallines et microscopiques. Ces substances sont le *quartz*, silice à l'état cristallin; les *feldspaths*, silicates doubles d'alumine et d'une seconde base qui est ordinairement la potasse, la soude ou la chaux; les *micas*, silicates d'alumine et de magnésie, chaux, lithine, potasse, etc.; les *pyroxènes* et les *amphiboles*, silicates doubles de chaux et de fer ou magnésie; puis enfin les divers silicates magnésiens, que l'on appelle *talcs* ou *serpentines*. Que l'on ajoute à ces divers minéraux quelques substances adventives et principalement des *oxydes de fer*, parfois cristallins, mais le plus souvent répandus d'une manière générale comme principes colorants, et l'on aura tous les éléments de la composition des roches ignées.

Les roches ignées présentent des structures généralement massives; les fissures irrégulières ou pseudo-régulières qui les divisent en blocs, en bancs, en tables, en prismes, leur donnent en outre un caractère tout particulier. Ces fissures ont, en effet, des analogies frappantes avec les divers systèmes de fissures de retrait qui se forment dans les masses d'abord fluides, puis consolidées par un refroidissement plus ou moins lent.

Si l'on ajoute à ces caractères de composition, de texture et de structure, ceux qui résultent de la forme des masses qu'elles constituent, on aura défini les roches ignées de manière à les distinguer facilement des roches sédimentaires.

Les roches ignées forment des masses généralement isolées. Tantôt ce sont de grosses montagnes arrondies, centre de soulèvement autour desquels sont relevés les dépôts sédimentaires; tantôt ce sont des pitons saillants, des dykes aplatis qui traversent et coupent toutes les autres roches à travers lesquelles ils se sont fait jour; quelquefois enfin ce sont des masses plus ou moins horizontales, qui ont pénétré latéralement dans des roches préexistantes, ou qui ont coulé et recouvert des surfaces plus ou moins considérables.

L'appréciation de ces phénomènes d'éruptions successives constitue l'étude et la description géognostique des terrains ignés; nous n'entreprendrons cette étude qu'après avoir décrit les terrains sédimentaires, mais il importe de préciser d'abord les caractères minéralogiques des roches.

Le série minéralogique des roches ignées embrasse un grand nombre de variétés qui peuvent être rapportées à quatre classes principales : les roches *feldspathiques*, *serpentineuses*, *amphiboliques* et *pyroxéniques*.

Roches feldspathiques. — Le feldspath est l'élément le plus répandu et le plus abondant parmi ceux qui constituent les roches ignées; aussi trouve-t-on des roches feldspathiques à toutes les époques d'éruption. Elles se subdivisent en *granites*, *porphyres*, *trachytes* et *laves*.

Les *granites* sont composés d'éléments cristallins, distincts, enchevêtrés les uns dans les autres de manière à former des roches solides. Ces éléments sont ordinairement les feldspaths, le quartz et le mica, tous trois avec les caractères qui leur sont propres : les feldspaths jaunâtres, blancs, rosés ou rougeâtres, toujours lamelleux et clivables; le quartz en grains translucides, blancs ou grisâtres, vitreux et sans clivages; les micas en paillettes brillantes et exfoliées dont les couleurs varient du blanc au jaunâtre et au noir.

La figure 8 représente la structure d'un granite ordinaire, dans lequel on distingue les formes clivées et anguleuses des cristaux de feldspath, celle des grains arrondis et disséminés du quartz, et les paillettes noires du mica.

Le feldspath et le quartz étant très-durs, les granites sont généralement résistants, font feu avec l'acier et sont très-difficiles à tailler.

Le feldspath domine généralement le quartz et le mica; toutefois la proportion et la grosseur des éléments constituants donnent lieu à de nombreuses variétés.

Dans la plupart des granites, la grosseur des éléments varie de quelques millimètres à un centimètre. Dans les variétés à

grands cristaux de feldspath, appelées *porphyroïdes* (fig. 9), les cristaux ont souvent plusieurs centimètres de longueur.

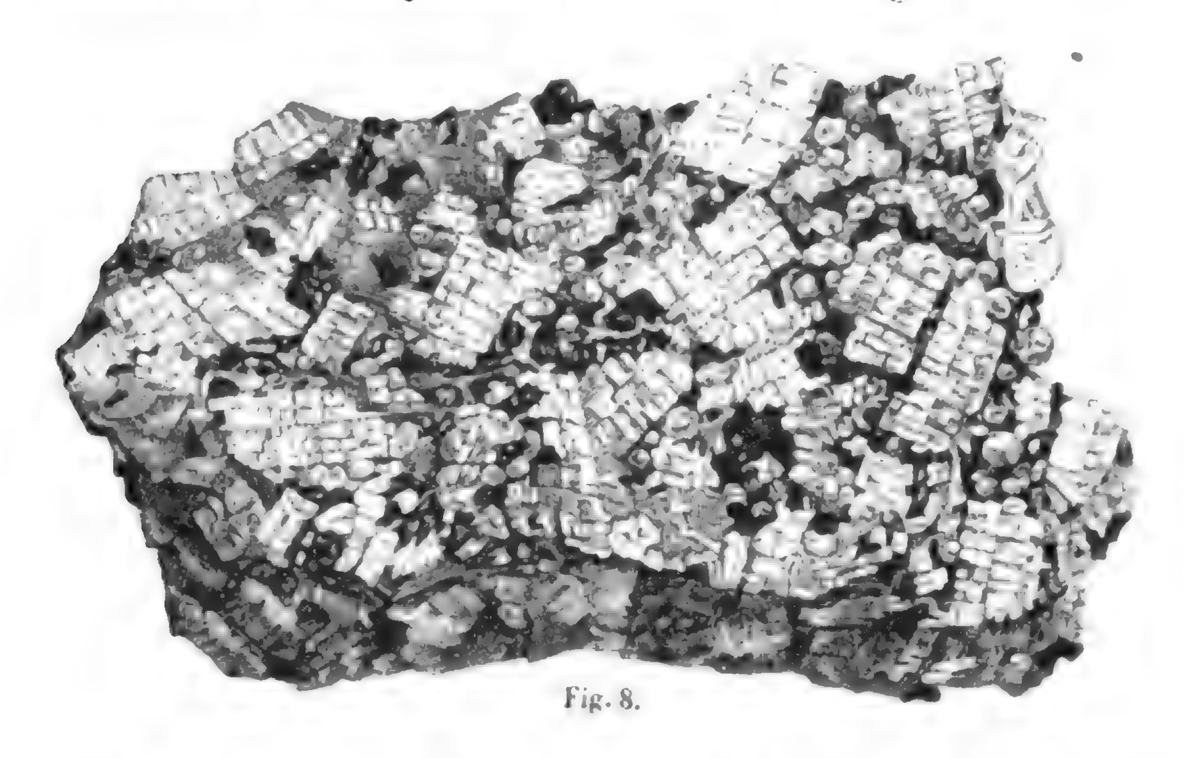


Fig. 8.

C'est principalement dans ces variétés porphyroïdes que l'on peut reconnaître l'existence de plusieurs espèces de feldspath.

Fig. 9.

L'orthose, l'albite et l'olygoclase peuvent s'y trouver et se distinguent par des différences de coloration et de structure. Quel-

quefois même certains cristaux, dont la partie centrale est colorée d'une manière tandis que la partie extérieure l'est différemment, sont en réalité composés de deux espèces de feldspath; cette condition est indiquée par la figure 9.

Accidentellement, les minéraux constituants des granites atteignent des dimensions encore plus considérables; le quartz et le feldspath s'isolent en masses de plusieurs décimètres de longueur, et le mica en grandes lames et en plaquettes cristallines. Ces granites, que l'on appelle *granites à grandes parties*, forment des gîtes particuliers dans lesquels il arrive souvent qu'un des éléments constituants vient à disparaître. Lorsque la roche est uniquement formée de feldspath et de quartz, elle prend le nom de *pegmatite*. Quelquefois c'est le feldspath qui disparaît, et la roche, composée seulement de quartz et de mica, reçoit alors le nom de *greisen*.

Le mica des granites est sujet à être remplacé par de l'amphibole ou par du talc.

Les granites amphiboliques sont désignés sous le nom de *syénites*, et les granites talqueux sous celui de *protogines*.

Ces diverses espèces de granites ne sont pas mélangées confusément; chacune d'elles constitue des masses distinctes qui appartiennent à des époques différentes d'éruption.

Certaines variétés se décomposent facilement sous l'influence des actions atmosphériques. La plupart des granites atteints par cette décomposition se désagrégent; les feldspaths perdent leur base alcaline et passent à l'état de silicates alumineux, en donnant ainsi naissance à des argiles plus ou moins ferrugineuses, souvent utilisées pour la fabrication des poteries. Lorsque la décomposition atteint des pegmatites à feldspath blanc et pur, l'argile qui en résulte constitue le *kaolin* ou terre à porcelaine.

Les granites sont accompagnés de roches métamorphiques généralement très-développées et dont les caractères paraissent dériver en grande partie des leurs. Ainsi, autour des granites proprements dits, se trouvent les *gneiss* composés de feldspath

et de micas, et les *micaschistes* composés de micas et de quartz : autour des protogines, se rencontrent des *stéaschistes* composés de feldspath ou de quartz associés aux talcs ; tandis que des schistes amphiboliques sont ordinairement subordonnés aux syénites.

Ces roches semi-cristallines et formées des mêmes éléments que les masses granitiques auxquelles elles sont subordonnées, ont une structure schisteuse qui ressemble à un commencement de stratification ; on a supposé qu'elles résultaient des premiers dépôts sédimentaires transformés par l'action des phénomènes éruptifs.

Le caractère des roches granitiques étant de présenter des éléments cristallins isolés, distincts, et que l'on puisse séparer les uns des autres, il est facile de se faire une idée assez précise de leur composition, puisqu'on peut toujours étudier séparément les éléments qui les constituent et en apprécier les proportions relatives.

Il n'en est pas de même des roches porphyriques, car elles sont composées à peu près des mêmes éléments, quoique dans des conditions toutes différentes de structure et d'agrégation.

Un *porphyre* est une roche formée d'une pâte dure et compacte, dans laquelle se rencontrent des cristaux de substances déterminables qui sont, le plus souvent, les feldspaths et le quartz, quelquefois les micas ou les amphiboles.

Les pâtes porphyriques sont généralement compactes et tenaces, à cassure esquilleuse. Ces caractères sont ceux du feldspath compacte ; mais les pâtes porphyriques contiennent en outre d'autres éléments qui altèrent leur pureté et sont indiqués par une coloration plus ou moins prononcée en rouge, jaune, brun, verdâtre ou noirâtre. Les oxydes et silicates de fer paraissent les éléments les plus ordinairement mélangés aux feldspaths, et plusieurs chimistes ont signalé l'analogie de composition qui existe entre les pâtes porphyriques et la composition des granites pris en masse.

Les porphyres peuvent être partagés en deux grandes classes :

Digitized by Google

les *porphyres quartzifères*, qui, outre des cristaux de feldspath disséminés dans leur pâte, contiennent une plus ou moins grande quantité de quartz en grains cristallins et quelquefois en cristaux bipyramidés; et les *porphyres feldspathiques*, qui contiennent des cristaux de feldspath et point de quartz. On pourrait dire de ces deux classes de porphyres que la première contient un excès d'acide, tandis que la seconde contiendrait plutôt un excès de base. Les porphyres quartzifères affectent généralement les couleurs claires du feldspath et du quartz, tandis que les porphyres feldspathiques sont souvent rouges avec excès d'oxyde de fer, ou colorés en noirâtre ou verdâtre par les amphiboles et pyroxènes.

Les porphyres présentent donc un grand nombre d'espèces, différant entre elles par la proportion et la nature des éléments, leur mode de dissémination et leur coloration. Toutes les espèces comprennent des variétés compactes, composées de pâtes feldspathiques impures et sans cristaux, que l'on appelle *eurites* ou *pétrosilex*.

La figure 10 représente l'apparence la plus ordinaire des porphyres. Sur la pâte, qui est compacte, jaunâtre ou rougeâtre, se

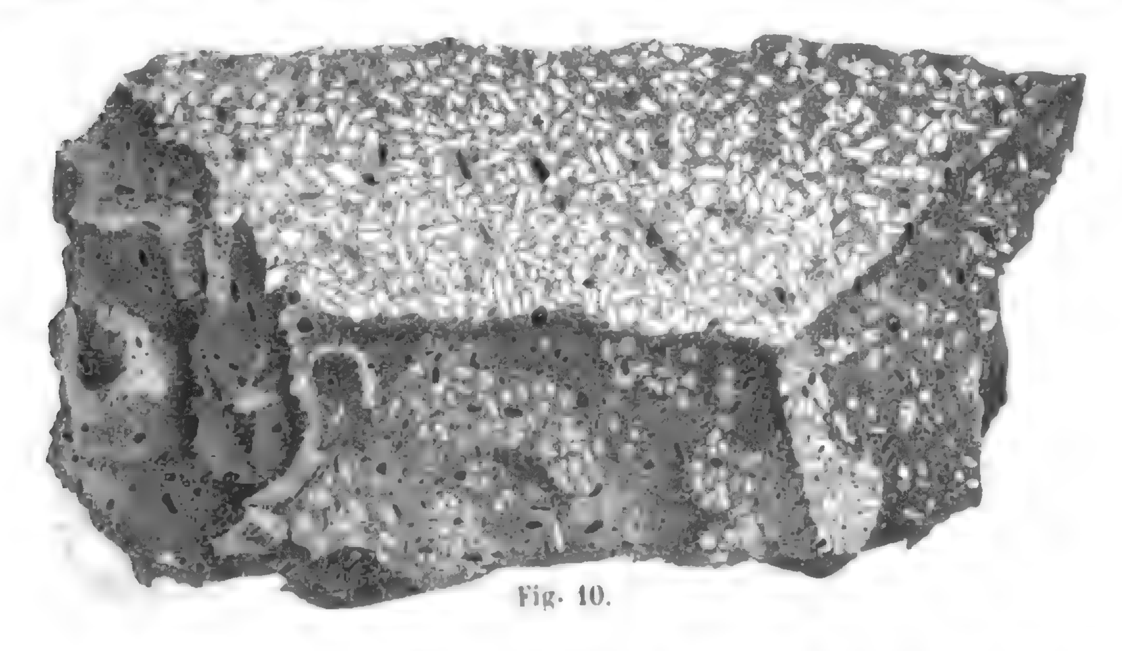


Fig. 10.

détachent, en couleur plus claire, des cristaux de feldspath dont les sections anguleuses accusent les clivages et les formes cristallines; il s'y joint souvent des grains arrondis de quartz et plus

souvent encore des particules cristallines de diverses substances, telles que le mica, l'amphibole, la pinite, etc...

Ces porphyres, de couleur claire et feldspathique, sont les

Fig. 11.

plus répandus. Il en existe d'autres, dans lesquels la pâte est de couleur sombre avec des cristaux rares et très-disséminés (fig. 11).

Ces porphyres très-compactes se rapprochent ainsi des eurites ou pétrosilex; leur nature feldspathique est indiquée par les cassures esquilleuses et conchoïdales qu'ils présentent.

La figure 12 présente, au contraire, un exemple de porphyre dans lequel les cristaux très-abondants dominent en quelque sorte la pâte. Cette pâte, de couleur sombre, est souvent très-mélangée de pyroxène, et le porphyre est alors ce que l'on appelle un *mélaphyre*. Les mélaphyres, ou porphyres à pâtes pyroxéniques, contiennent quelquefois des cristaux de pyroxène mélangés à ceux des feldspaths les moins silicatés, et surtout d'olygoclase et de labradorite.

Les eurites et les pétrosilex, formés exclusivement de pâtes feldspathiques sans cristaux, sont généralement caractérisés par leurs cassures conchoïdales dont la figure 13 présente, en quelque sorte, le type.

Digitized by Google

Ces pâtes compactes et tenaces ne sont pas toujours d'une complète homogénéité. On y remarque souvent une tendance

Fig. 12.

d'agglomération cristalline de certains principes formant des points ou centres d'attractions moléculaires qui donnent à la roche un aspect tigré ou moucheté qu'indique la figure 13.

Fig. 13.

On peut encore classer parmi les roches porphyriques certaines variétés dans lesquelles les agglomérations cristallines

Digitized by Google

prennent des formes sphéroïdales ou amygdalines. Le type

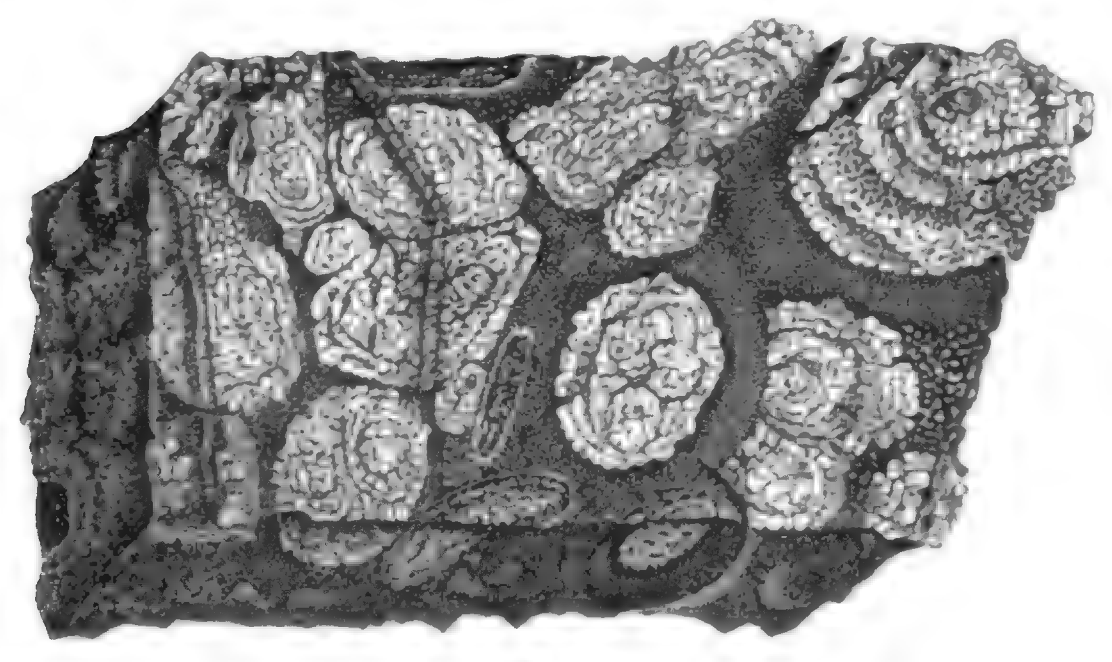


Fig. 14.

de ces roches est celle que l'on appelle diorite orbiculaire (fig. 14).

Cette diorité est composée de cristaux accolés de feldspath et d'amphibole. Dans la pâte, ces cristaux sont microscopiques et l'amphibole domine; dans les noyaux orbiculaires, les cristaux sont isolés, bien distincts, et le feldspath domine au contraire l'amphibole.

Beaucoup de variétés de roches porphyriques présentent ainsi des agglomérations sphéroïdales, à zones concentriques, de certaines substances qui ne sont même pas toujours dans un état assez cristallin pour qu'on puisse apprécier leur composition.

Les porphyres sont généralement des roches dures et compactes; ils font feu avec l'acier, et, parmi les eurites, il est des variétés tellement homogènes et résistantes, qu'on est tenté de les confondre avec des quartz colorés. Leur fusibilité est, dans ce cas, un moyen de les distinguer.

Bien que moins répandues que les granites, les roches porphyriques occupent cependant une place plus importante dans la plupart des collections; elles doivent cette importance à la

variété de leurs caractères minéralogiques et à leur aspect favorable à l'ornementation. Les porphyres feldspathiques rouges à pâte ferrugineuse, les porphyres bruns et les porphyres verts amphiboliques sont les plus recherchés; ils seraient d'un emploi beaucoup plus répandu si la difficulté de les tailler et de les polir n'en rendait le prix très-élevé.

Les porphyres sont souvent accompagnés de roches particulières que ne présentent pas les granites; ce sont des roches à structure fragmentaire qui semblent être des brèches ou conglomérats de frottement, formés, soit à leurs dépens, soit aux dépens des roches qu'ils ont dû traverser pour arriver au jour. Quelques-unes de ces brèches sont tout à fait compactes et affectent, comme les porphyres eux-mêmes, des structures de retrait, souvent pseudo-régulières; d'autres sont en partie désagrégées.

Les *trachytes* forment une autre série de roches feldspathiques dont la pâte est terreuse et généralement porphyroïde; les cristaux qu'ils contiennent sont du feldspath fendillé et semi-vitreux. Tout en présentant la plus grande analogie de composition avec les porphyres feldspathiques, les trachytes ont donc des caractères minéralogiques différents. La cassure inégale de leur pâte, leur tissu souvent terreux et poreux, écarteraient l'idée d'une composition feldspathique si cette composition n'était indiquée par les cristaux dont la nature vitreuse est un caractère spécial des roches trachytiques.

Les trachytes ne contiennent presque jamais de quartz, et l'amphibole est à peu près la seule substance qui s'y trouve fréquemment associée au feldspath.

Ces roches varient d'abord par la coloration de la pâte, qui peut être blanche, grise, jaunâtre, rougeâtre ou noire, etc., par son état d'agrégation plus ou moins serré, par l'abondance plus ou moins grande des cristaux de feldspath disséminés, enfin par les cristaux de quelques substances adventives, tels que l'amphibole ou le mica. La nature un peu terreuse des trachytes et leur structure généralement massive les rendent pro-

pres à fournir des pierres de construction, faciles à tailler et assez résistantes.

Le trachyte devient quelquefois compacte et constitue alors des variétés particulières auxquelles on a donné les noms de *rétinites* et de *phonolites*.

Les *rétinites* sont des roches compactes semi-vitreuses ou vitreuses. Leur nature feldspathique ne se révèle que par quelques cristaux rares et petits, et par des globules lithoïdes empâtés dans la roche. Ces variétés ont la cassure résineuse ou vitreuse et sont les verres volcaniques les plus anciens ; elles sont quelquefois accompagnées de parties fibreuses et scoriacées dont l'apparence rappelle la pierre ponce. Les rétinites ne constituent, dans les groupes trachytiques, que des masses subordonnées et de peu d'étendue.

Les *phonolites* sont aux trachytes ce que les pétrosilex sont aux porphyres; ce sont des pâtes trachytiques compactes, dont les cassures céroïdes et conchoïdales indiquent la nature feldspathique.

Ces roches sont souvent clivables, ce qui permet de les employer comme dalles ou pierres tégulaires; la sonorité de ces dalles leur a fait donner le nom de phonolyte ou pierre sonore. Cette division en dalles ou feuillets n'empêche pas les fissures principales d'affecter quelquefois des dispositions pseudo-régulières, et l'on connaît beaucoup d'exemples de colonnades formées par les phonolytes.

Les trachytes sont généralement accompagnés d'une très-grande quantité de roches conglomérées ; les unes, formées de très-petits éléments et paraissant résulter de l'accumulation de cendres feldspathiques, constituent les *tufs ;* les autres, composés de blocs et fragments de toute dimension, sont les brèches et *conglomérats* trachytiques. Les tufs, qui contiennent des cristaux isolés de feldspath et des globules vitreux appelés *perlites*, semblent les produits de déjections volcaniques, tandis que les conglomérats qui entourent les montagnes trachytiques résultent principalement de l'action des eaux.

S'il fallait une nouvelle preuve de l'abondance des feldspaths dans la composition de l'écorce terrestre, nous la trouverions dans les produits des volcans proprement dits, éteints ou actifs; les *laves feldspathiques* y sont, en effet, en proportion dominante.

Les laves feldspathiques, généralement cellulaires et bulleuses, semblent encore pénétrées par les gaz qui jouent un rôle si essentiel dans les éruptions actuelles. Elles sont accompagnées d'une quantité considérable de cendres et de matières scoriacées, rejetées autour des bouches volcaniques par les éruptions gazeuses.

Souvent les laves modernes contiennent de nombreux cristaux de pyroxène associés aux substances feldspathiques les moins silicatées, telles que le labrador, l'anorthite et l'amphigène.

Parmi les nombreuses variétés de laves feldspathiques, la plus remarquable est l'*obsidienne* ou verre volcanique. C'est une roche vitreuse, noirâtre, dont les scories sont les pierres *ponces*, roches fibreuses et celluleuses, qui ne sont autre chose que le verre feldspathique, divisé par les gaz au point de devenir plus léger que l'eau.

Les laves, ainsi que les porphyres et les trachytes, sont accompagnées de *tufs* et de roches bréchiformes ou conglomérées désignés sous les noms de *brèches volcaniques* et de *pépérinos;* ces roches paraissent résulter de l'accumulation des cendres et lapilli, souvent entraînés par des courants d'eau loin des bouches volcaniques qui les ont rejetés.

Roches serpentineuses. — Les *serpentines* sont des silicates de magnésie plus ou moins chargés d'autres bases isomorphes, et surtout d'oxyde de fer. Ce sont des roches d'un vert noirâtre, souvent talqueuses et douces au toucher. Généralement très-fissurées, elles se divisent en blocs irréguliers dont les surfaces polies et onctueuses semblent avoir glissé les unes contre les autres.

Les variétés, d'ailleurs peu nombreuses, que présentent les

serpentines résultent surtout des différences de leur coloration du vert au noirâtre, et de leur tendance à se charger de cristaux de diallage qui leur donnent accidentellement une structure porphyroïde.

Ces pâtes magnésiennes sont généralement tendres et ne font pas feu avec l'acier. Elles contiennent, en masses subordonnées, des *euphotides*, mélanges de diallage et de feldspath lamelleux ou compacte, qui constituent des roches dures et tenaces; des *stéatites*, qui sont au contraire très-tendres, douces au toucher, et semblent quelquefois se décomposer en argiles magnésiennes.

On peut rapporter à ce groupe les *variolites*, mélanges intimes de silicates magnésiens et de feldspath, dans lesquels le feldspath forme des agglomérations orbiculaires.

C'est surtout vers le périmètre des masses serpentineuses et vers leur contact avec les autres roches que se trouvent les variétés subordonnées, ainsi que les roches conglomérées que l'on appelle *gabbros*.

Ces gabbros, tantôt verdâtres et stéatiteux comme les serpentines elles-mêmes, tantôt bariolés de rouge ou tout à fait rouges et surchargés de peroxyde de fer, ont une structure fragmentaire, et paraissent être des conglomérats de frottement, formés par la sortie des serpentines à travers les autres terrains. Les éléments serpentineux s'y mélangent d'argile, de feldspath, souvent de calcaires, et forment des magmas bariolés, quelquefois durs et susceptibles de poli, mais le plus souvent désagrégés et délitables.

Roches amphiboliques. — Les *roches amphiboliques* comprennent les *diorites* et les *trapps* ou *grunsteins*.

Les *diorites*, composées de feldspath et d'amphibole vert ou noir, à l'état cristallin, forment le passage des roches amphiboliques aux syénites du groupe granitique. Lorsque les cristaux y sont assez volumineux, les diorites présentent de belles variétés, recherchées comme roches d'ornementation.

Les *trapps* ou *grunsteins* sont généralement plus riches en amphiboles verts ou noirs, et moins riches en feldspath que

les diorites. Les éléments y sont si intimement mélangés, qu'ils présentent un aspect homogène et compacte. Ce sont des pâtes plus ou moins cristallines, mais rarement porphyriques, ayant une tendance à passer aux *spillites* et aux *amygdaloïdes*, c'est-à-dire à se charger de petits nodules amygdalins de chaux carbonatée ou de zéolites.

Dans certaines masses subordonnées aux diorites ou aux grunsteins, l'amphibole devient assez abondant pour exclure le feldspath. Ces variétés prennent le nom d'*amphibolites*.

Les roches amphiboliques, et surtout les grunsteins, sont fréquemment accompagnées de roches métamorphiques, dont le caractère est d'être très-schisteuses, souvent amygdaloïdes et quelquefois très-surchargées d'oxydes de fer. Ces roches sont désignées sous les dénominations de *schistes amphyboliques*, de *blattersteins* ou de *schalsteins*.

Roches pyroxéniques. — Les *roches pyroxéniques*, composées des mêmes éléments que les roches amphiboliques, mais moins silicatées et plus chargées de bases (chaux, magnésie et oxyde de fer), offrent, avec ces roches, de grandes analogies. De la différence de composition résulte une différence dans les feldspaths qui s'allient aux pyroxènes pour constituer des roches ; ce sont les moins silicatés, le labrador, l'oligoclase, et quelquefois des substances de composition analogue à celle des feldspaths, mais distinctes par leur système cristallin, telles que l'anorthite et l'amphigène.

Les roches pyroxéniques se divisent en *mélaphyres*, *basaltes* et *laves* modernes.

Les *mélaphyres* sont des porphyres pyroxéniques, ordinairement à base de labrador et de pyroxène, dont le mélange intime forme une pâte noire, brune ou verdâtre, dans laquelle se trouvent des cristaux des deux éléments et surtout de labrador. Ces porphyres sont souvent accompagnés d'amygdaloïdes noirâtres, à nodules calcaires ou zéolitiques, dont les pâtes sont plus ou moins terreuses.

Les *basaltes* sont les roches pyroxéniques par excellence. Ils

Digitized by Google

sont formés d'une pâte noire, très-dure, composée de cristaux microscopiques, de pyroxène augite et de feldspath labrador, contenant quelquefois, en cristaux disséminés, du pyroxène, du fer oxydulé titanifère et du péridot. Les proportions diverses de ces éléments donnent lieu à des variétés assez nombreuses.

On appelle *dolérites* les basaltes dans lesquels le feldspath et le pyroxène de la pâte sont en cristaux discernables ; *basaltes porphyroïdes*, ceux dont la pâte est chargée de cristaux de pyroxène.

La plupart des basaltes sont compactes, mais souvent ils sont accompagnés de variétés cellulaires, bulleuses ou scoriacées, et de véritables scories basaltiques noires ou rouges, rendues légères par la grande quantité des vides qui s'y trouvent. Quelquefois on trouve en masses subordonnées aux basaltes certaines roches terreuses, appelées *vackes*, qui sont de véritables brèches de contact.

A l'état compacte, les basaltes sont remarquables par leur tendance à prendre une structure prismatique ; ce sont eux qui constituent ces masses prismatiques appelées colonnades ou orgues, dont la division pseudo-régulière est évidemment due aux fissures de refroidissement.

Certaines variétés sont composées de pyroxène associé à des zéolites. C'est ainsi que la mésotype, la gmelinite, l'analcime et l'amphigène constituent des roches qui ont l'apparence de basaltes ordinaires, mais qui sont généralement moins dures, et dont la nature exceptionnelle est indiquée par des cristaux empâtés, ou par des géodes cristallines dans lesquelles s'isolent les substances associées au pyroxène.

Les *laves pyroxéniques* des volcans modernes sont des espèces de basaltes à structure très-cellulaire, entourés de matières scoriacées et de cendres. Elles sont beaucoup plus noires que les laves feldspathiques, et les déjections noires ou rouges qui en ont accompagné l'éruption sont souvent elles-mêmes surchargées de petits cristaux d'augite.

L'anorthite et l'amphigène se substituent quelquefois au feldspath et donnent lieu à des variétés faciles à reconnaître par leur tendance à cristalliser.

Toutes ces laves volcaniques sont accompagnées de matières scoriaciées, souvent divisées jusqu'à l'état de cendres et qui ont été transportées par les eaux, stratifiées et mélangées d'autres principes, de manière à produire les *peperinos*, ***brèches*** ou *tufs* volcaniques.

Age relatif des roches éruptives. — Les roches dont nous venons d'étudier les principaux caractères ont suivi, dans leur apparition à la surface, un ordre presque général qui permet de les diviser en terrains successifs. Cet âge relatif serait difficile à déterminer si les masses éruptives n'étaient comparables qu'entre elles, car elles sont assez clair-semées sur la surface du globe, et il n'est pas toujours possible de les trouver en contact, de manière à apprécier leur âge géognostique. Mais la comparaison de leurs positions, relativement aux roches sédimentaires qu'elles ont traversées et soulevées, vient compléter les données obtenues par l'étude directe et permet d'établir la série géognostique des éruptions.

La succession des roches éruptives constitue trois séries bien distinctes que l'on retrouve dans toutes les contrées du globe.

Le *terrain granitique*, le plus ancien de tous, et composé des roches granitoïdes ;

Le *terrain porphyrique*, comprenant les porphyres et les roches trappéennes ;

Le *terrain volcanique*, formé par la succession des trachytes, des basaltes et des laves modernes.

Ces trois terrains peuvent eux-mêmes se diviser en formations successives, caractérisées par les conditions minéralogiques particulières de leurs roches ; mais l'ordre géognostique de ces formations est plus difficile à établir, parce qu'il paraît soumis, dans quelques contrées, à des inversions exceptionnelles.

En effet, l'âge des roches éruptives n'est pas absolu, il n'est que relatif; les roches granitiques faisaient encore éruption dans telle contrée tandis que, dans telle autre, la série des roches porphyriques était entièrement sortie. Il résulte de cette condition géognostique une assez grande difficulté pour déterminer la succession des roches éruptives; cependant on peut la considérer comme établie d'une manière très-approximative par le tableau ci-après, page 84.

TERRAINS SÉDIMENTAIRES.

Les dépôts sédimentaires forment une classe beaucoup plus étendue que celle des terrains éruptifs ; ils couvrent les quatre cinquièmes des terres émergées, et la série en est continue depuis les premiers âges du globe terrestre jusqu'à l'époque actuelle. L'étude de ces terrains permet donc de suivre avec plus de précision l'état du globe pendant les diverses périodes géologiques. Ces dépôts contiennent en outre des débris organiques ou fossiles, qui offrent le double avantage de servir à caractériser les terrains et d'indiquer les développements successifs des règnes végétal et animal.

Les roches qui constituent les terrains sédimentaires sont toutes stratifiées, c'est-à-dire déposées sous forme de couches.

Une couche est une masse minérale comprise sous deux plans parallèles : le plan inférieur que l'on appelle *mur*, et le plan supérieur que l'on appelle *toit*. Si cette couche est horizontale, sa position se trouve précisée par cette seule indication ; si elle est inclinée, elle a une *direction* que l'on peut mesurer par rapport au nord-sud magnétique de la boussole, et une *inclinaison* que l'on peut également mesurer en degrés par rapport à la verticale indiquée par le fil à plomb.

Une série de couches superposées comprend généralement des roches diverses, alternant ensemble, et dont les caractères minéralogiques, aussi bien que la stratification en couches successives, indiquent l'origine sédimentaire.

Digitized by Google

Les caractères minéralogiques des roches stratifiées ou sédimentaires (ces deux expressions sont synonymes) permettent d'y reconnaître des détails d'origine et de formation identiques à ceux des dépôts actuellement formés par les eaux. On y trouve des roches arénacées, produites par érosion et transport, telles que des sables et cailloux roulés, des grès ou poudingues, et des argiles qui rappellent les caractères de certains dépôts limoneux des deltas et des embouchures. Ces roches alternent avec d'autres qui ont été formées par voie de précipitation chimique, telles que les calcaires et les concrétions siliceuses.

Toutes ces roches, arénacées ou concrétionnées, ont un aspect lithoïde qui contraste avec la structure cristalline des roches éruptives ; elles ont aussi une densité généralement un peu moindre.

Ce qui donne un intérêt tout particulier à l'étude des roches sédimentaires, c'est la présence de débris fossiles, provenant des mollusques et des animaux vertébrés qui ont habité les eaux dans lesquelles se formaient les dépôts, ou des plantes qui croissaient sur le littoral des lacs ou des mers. On y rencontre même, dans quelques circonstances, des ossements d'animaux pachydermes ou carnassiers. Ces fossiles aident à reconstruire la série des espèces animales qui ont successivement habité la surface du globe, et facilitent l'étude de l'âge relatif et de la succession des dépôts.

Un certain nombre de ces fossiles est exclusivement répandu dans les couches déposées à une certaine époque géologique. On ne les retrouve ni dans les couches inférieures plus anciennes, ni dans les couches supérieures plus modernes ; ce sont des *fossiles caractéristiques*.

Les roches sédimentaires appartiennent à trois grandes classes : les roches *quartzeuses*, *calcaires* et *argileuses*.

Roches quartzeuses. — Les roches quartzeuses sont généralement remarquables par leur dureté ; elles font feu avec l'acier. L'aspect vitreux ou compacte de leurs cassures, l'absence de tout indice de clivages, permettent de les distinguer de cer-

taines roches feldspathiques qui ont une dureté analogue ; leur infusibilité viendrait au besoin compléter la dissemblance.

Le quartz translucide entre comme élément dans plusieurs roches stratifiées et se trouve même en masses adventives assez considérables ; le plus souvent il est impur et opaque. Mélangé d'un peu d'argile et coloré par des oxydes de fer, il constitue ce que l'on appelle les *jaspes*. Compacte, blond, gris, noirâtre, jaunâtre, il forme les *silex* ou pierres à feu.

Certains quartz grenus ou compactes, généralement blanchâtres et remarquables par leur ténacité, sont appelés *quartzites* ; ils passent aux *grès quartzeux* dont les grains sont plus ou moins agrégés, puis aux *sables quartzeux* formés de grains incohérents, tantôt très-fins, tantôt grossiers et mélangés de *cailloux* roulés.

Les modifications de structure donnent aux roches quartzeuses des caractères assez variés. Les jaspes stratifiés, schisteux et mélangés d'un peu d'argile, constituent ce que l'on appelle le *schiste siliceux* ou *lydienne*. Le quartz compacte, à structure caverneuse et cariée, constitue la *pierre meulière* du bassin de Paris, souvent employée sous forme de meules, mais plus souvent encore comme pierre de construction.

Roches calcaires. — Les roches *calcaires* forment une série très-nombreuse que l'on peut diviser en trois classes principales : les calcaires *cristallins*, *compactes* et *terreux*. Une quatrième classe comprendrait les variétés mélangées d'autres principes, telles que les calcaires magnésiens ou *dolomies*, les calcaires siliceux, et les calcaires argileux ou *marnes*.

Toutes les roches calcaires sont caractérisées par les propriétés ordinaires de la chaux carbonatée : elles sont rayées par l'acier, font effervescence avec les acides et se convertissent en chaux par une calcination prolongée.

Les calcaires cristallins comprennent les *calcaires spathiques* et les *marbres*.

Les calcaires *spathiques* sont ceux qui ont des clivages assez nets pour être lamelleux et pour qu'on puisse en extraire des

rhomboèdres définis. Ces variétés sont les plus pures de toutes; elles sont cependant sujettes à être mélangées de carbonates isomorphes, de fer, de manganèse et de magnésie. Le carbonate de fer les colore en brun, et le carbonate de manganèse en rose.

Les *marbres* sont des calcaires cristallins à cassure grenue, saccharoïde; ils sont remarquables par la diversité de leur coloration. Ainsi, depuis le marbre blanc statuaire jusqu'au marbre noir, on peut en trouver qui présentent les couleurs les plus variées, gris, jaune, rouge, vert. Ces couleurs se mélangent entre elles et produisent les marbres veinés ou mouchetés.

Les calcaires compactes sont moins diversement colorés que les marbres; le blanc jaunâtre, le gris bleuâtre, le gris et le noir sont les couleurs les plus ordinaires. Lorsque ces calcaires sont faciles à tailler, ils fournissent les pierres de construction les plus recherchées. Ce sont les pierres à chaux ordinaires; mélangés avec de petites proportions d'argiles, ils deviennent propres à la fabrication des chaux hydrauliques.

Les calcaires sont stratifiés en bancs de toutes dimensions; les variétés les plus compactes sont souvent en petites couches d'où l'on extrait les dalles, pierres de *liais* ou pierres lithographiques.

Parmi les nombreuses variations de texture, on rencontre, en couches subordonnées et même très-puissantes, des calcaires compactes *oolitiques*, composés de petits grains ovoïdes fortement agrégés.

Le passage des calcaires compactes aux calcaires terreux est assez bien établi par les diverses variétés des calcaires parisiens. On y trouve, sur certains points et surtout dans les assises supérieures, les variétés compactes, appelées *cliquarts*; les bancs appelés *roches* et *lambourdes* sont d'un tissu moins serré et semi-compacte, et les assises inférieures fournissent des *moellons* ou calcaires grossiers et terreux.

Les véritables variétés terreuses sont appelées *craies*. La *craie*

blanche, avec laquelle se fabrique le blanc d'Espagne, est un type du calcaire pur et terreux. La craie *tufau*, exploitée dans la Touraine et dans le Nord, est une variété remarquable, facile à couper et à tailler au sortir de la carrière, et qui acquiert, en se desséchant à l'air, une consistance suffisante pour composer une bonne pierre de construction.

Les *marnes*, mélanges de calcaire et d'argile, sont des roches tendres, plus ou moins délayables, qui réunissent les caractères minéralogiques des deux éléments.

Roches argileuses. — Les *argiles* sont des silicates d'alumine, généralement impurs, qui présentent des caractères très-différents suivant leur position géognostique.

Les argiles anciennes sont indélayables dans l'eau, indélitables à l'air, et présentent une structure feuilletée ; à cet état elles constituent ce que l'on appelle le *schiste argileux*, dont l'ardoise est la variété la plus complète dans ses caractères.

Les schistes argileux sont de couleurs variées, le plus souvent d'un gris bleuâtre, violacé ou verdâtre ; il en existe également de bruns, de rougeâtres et de noirs. Souvent surchargés de quartz et de mica en particules à peine discernables, ils semblent être le produit sédimentaire le plus léger, résultant de l'érosion et de la décomposition des roches granitiques. Ces roches sont généralement stratifiées en bancs de peu d'épaisseur et très-feuilletées parallèlement à leur plan de stratification. Elles sont quelquefois à feuillets contournés.

Les schistes argileux sont tendres, faciles à rayer et à casser, lorsqu'ils ne sont pas surchargés de quartz.

Après les schistes argileux, viennent les *argiles schisteuses*, roches analogues, mais qui se délitent par une exposition plus ou moins longue à l'action de l'eau ou de l'air humide.

Les argiles proprement dites sont des roches tendres et délayables dans l'eau, avec laquelle elles font une pâte facile à mouler, à étirer et à façonner. Soumises à la calcination, elles deviennent dures et indélitables, propriété qui a donné naissance aux arts céramiques. Les argiles sont colorées en jaune

ou en rouge, en gris verdâtre ou noirâtre; on les classe d'après leur pureté et leur aptitude à donner des produits plus ou moins parfaits.

Le *kaolin* ou terre à porcelaine est l'argile la plus pure. Il est blanc, souvent mélangé de quartz dont il faut le débarrasser par le lavage, et provient généralement de l'altération des feldspaths. Cette argile est infusible et donne, par la calcination, des porcelaines dures et translucides.

L'*argile plastique*, lorsqu'elle est pure, est également blanche, mais généralement plus hydratée que le kaolin (elle contient de 12 à 14 pour 100 d'eau); elle donne, après calcination, une faïence opaque qui n'a ni la dureté ni la translucidité de la porcelaine. Lorsque la pureté des argiles est altérée par le mélange d'autres bases que l'alumine, telles que les oxydes de fer, la magnésie, la chaux, etc., elles deviennent fusibles, tandis que celles qui sont pures sont réfractaires. On peut donc distinguer dans la série des argiles plastiques : les argiles blanches ou terres à faïence; les argiles grises simplement colorées par un peu de carbone, parmi lesquelles on trouve les argiles réfractaires pour les usages métallurgiques; les argiles fortement colorées qui, bien que très-plastiques, ne peuvent fournir que des poteries rouges et des briques fusibles à des températures plus ou moins élevées; enfin, les simples terres à briques qui forment le dernier degré de l'échelle. Les dépôts limoneux dans lesquels le principe argileux est mélangé d'autres roches divisées sont en général propres à fournir des briques communes.

Les *argiles smectiques*, ou terres à foulon, sont beaucoup plus hydratées que les argiles plastiques (elles contiennent 22 pour 100 d'eau). Lors même qu'elles sont assez pures, elles ne sont que faiblement plastiques; leur pâte est courte, peu cohérente, et ne laisse, après la calcination, qu'un résidu poreux et sans consistance. Ces argiles, qui ont la propriété d'absorber les corps gras, ont pu être employées à quelques usages manufacturiers, tels que le décatissage des draps.

Digitized by Google

Roches d'agrégation. — Les roches d'agrégation, produites par l'agglomération des débris de toutes les roches préexistantes, forment la classe la plus nombreuse et la plus variée de toutes les roches sédimentaires. Leur caractère général est d'être composées d'éléments hétérogènes, parmi lesquels on peut distinguer la nature des roches agglomérées lorsque les fragments sont assez gros. L'échantillon figure 15 est un exemple dans

Fig. 15.

lequel se trouvent agglomérés des fragments de granites, de divers porphyres et de quartz.

Ces roches reçoivent des noms différents suivant la nature ou la grosseur des éléments qui les constituent. Ainsi l'on donne exclusivement la dénomination de *grauwackes* aux premiers dépôts, composés des débris des roches les plus anciennes, tels que granites, gneiss, quartz, feldspaths et micas. Dans les grauwackes composées de gros fragments, on peut distinguer non-seulement la nature, mais souvent la provenance des éléments qui s'y trouvent. Dans les grauwackes fines les éléments quartzeux dominent généralement, en vertu de leur résistance plus longue à la décomposition et à l'érosion : ce sont

Digitized by Google

souvent des *grès quartzeux micacés*. Lorsque les éléments argileux provenant de la décomposition des feldspaths se mélangent en proportion considérable aux éléments quartzeux, il en résulte des *grauwackes schisteuses* passant progressivement aux schistes argileux.

Cette distinction dans les caractères minéralogiques des roches d'agrégation, d'après la grosseur de leurs éléments, se reproduit dans toutes les périodes et autour de tous les groupes montagneux formés par des roches éruptives.

Les dépôts inférieurs et les plus rapprochés des montagnes qui fournissaient les matériaux aux actions sédimentaires sont formés des éléments les plus volumineux et comprennent des blocs considérables : on les appelle *conglomérats*. Après ces conglomérats viennent des couches dont les éléments, plus petits, sont tantôt composés de fragments anguleux qui constituent des *brèches*, tantôt de fragments roulés et arrondis, qui constituent des *poudingues*. Lorsque les éléments n'ont plus, en majeure partie, que la grosseur de pois et de grains de millet, ce sont des *grès*, dans lesquels dominent généralement les grains quartzeux que leur dureté a préservés; puis, lorsque les éléments deviennent encore plus fins, ces grès se chargent d'argiles diversement colorées et passent aux grès schisteux ou *psammites*.

Dans les terrains anciens, les limons argileux produits par les derniers dépôts des eaux sédimentaires sont représentés par des *schistes*, tantôt indélayables comme le schiste argileux, tantôt délitables à l'air comme les argiles schisteuses; dans les terrains plus modernes, ce sont de véritables argiles, délayables et faisant pâte avec l'eau comme les argiles plastiques ou smectiques.

Les roches d'agrégation sont les plus variables de toutes par leur coloration, leur composition, leur dureté ou leur incohérence; mais elles empruntent la plus grande partie de leurs caractères à ceux des masses minérales dont elles sont, en quelque sorte, les émanations sédimentaires.

Ainsi les grauwackes rappellent tous les caractères des ro-

Digitized by Google

ches anciennes; les conglomérats et grès houillers, variétés de grauwackes, sont formés des débris des bassins granitiques au fond desquels ils sont stratifiés et principalement de quartz. Autour des massifs montagneux, dans la composition desquels les porphyres jouent un rôle important, se trouvent les conglomérats porphyriques et les grès rouges ferrugineux; autour des montagnes serpentineuses, les conglomérats ophiolitiques; enfin, autour des massifs volcaniques, les conglomérats, les brèches et les tufs trachytiques ou basaltiques forment en quelque sorte une ceinture sédimentaire.

C'est d'après la même loi que les sables et cailloux roulés d'une vallée résument la composition des massifs montagneux auxquels ils ont été arrachés.

Caractères de la stratification. — Si les roches sédimentaires sont déjà nettement caractérisées par la composition que nous venons de définir, elles ne le sont pas moins par leurs formes stratifiées.

La stratification n'est pas seulement la disposition sous forme de couches, elle se trouve encore indiquée par une multitude de circonstances. Toutes les variations de couleur, de structure, de dureté que présente une couche, ont lieu suivant des plans parallèles aux plans supérieurs et inférieurs qui la limitent. Ce caractère est tellement prononcé, que, lorsqu'on exploite, pour des usages de construction, des roches calcaires ou quartzeuses, les maçons et appareilleurs reconnaissent au premier coup d'œil le *lit de carrière* de ces roches, c'est-à-dire le sens de leur stratification, et superposent les blocs suivant ce sens, sachant bien qu'ils présenteront ainsi plus de stabilité et plus de résistance.

Lorsqu'il aborde une carrière ouverte dans des roches stratifiées, l'observateur saisit d'un même coup d'œil ses caractères minéralogiques et sa stratification. Il sait que cette roche présentera des clivages dans le sens de cette stratification. S'il cherche un fossile, une impression végétale, c'est dans un de ces clivages qu'il devra le rencontrer; si ce fossile a des dimen-

sions un peu grandes, il sera couché sur son plan de dépôt suivant les lois de la pesanteur, c'est-à-dire les plus grands axes à peu près parallèles à ce plan ; il en sera de même des galets ovoïdes ou plats, qui, n'ayant pu se déposer sur champ ou se tenir sur leur grand axe, se seront placés à plat comme ils se placent encore sur les bords de la mer.

En examinant les couches superposées et alternantes mises à nu par une excavation, on voit encore que les couches inférieures sont nécessairement plus anciennes que celles qui les recouvrent ; que dans une même assise, dans un même banc, les parties inférieures du mur sont antérieures aux parties supérieures du toit, de telle sorte qu'un fragment clivé dans un de ces bancs représente une époque particulière, souvent caractérisée par un lit de coquilles, de plantes fossiles ou par tout autre indice particulier qui peut résulter des variations minéralogiques de la roche.

Nous avons précédemment examiné le phénomène de la sédimentation dans les détails des dépôts qui en sont résultés ; jetons un coup d'œil sur son ensemble.

Le siége principal des dépôts sédimentaires, c'est la masse des eaux de la mer qui couvre aujourd'hui les trois quarts de la surface du globe. Il n'y a aucune raison de penser qu'à aucune époque géologique cette masse ait embrassé un espace plus restreint ; il est probable, au contraire, que l'espace recouvert par les eaux marines était plus considérable dans les premières périodes, et que les terres émergées ont été toujours s'accroissant et se compliquant dans leur structure par des soulèvements successifs.

A toutes les époques géologiques, les eaux et, par conséquent, les dépôts sédimentaires, ont donc couvert plus des trois quarts de la surface terrestre.

Pour établir une échelle géognostique de tous les terrains sédimentaires, il faudrait rencontrer une contrée qui, avant d'être soulevée au-dessus du niveau des eaux, aurait successivement été couverte par tous les dépôts sédimentaires des diverses

périodes géologiques. Le sol de cette contrée serait ainsi composé de dépôts superposés dont l'épaisseur résumerait les caractères comparatifs de tous les terrains sédimentaires.

Mais, puisque cet examen n'est pas possible et que nous ne pouvons voir et étudier les terrains sédimentaires que lorsqu'ils ont été émergés, nous sommes obligés de les examiner partiellement sur les flancs des vallées et sur les escarpements qu'elles présentent, ainsi que sur les parois des excavations artificielles ouvertes dans le sol; pour retrouver ensuite les terrains supérieurs ou inférieurs, nous devons nous transporter sur d'autres points en suivant avec attention les positions relatives de la stratification des couches successives.

L'étude des terrains de sédiment porte donc, à la fois, sur les caractères minéralogiques qu'ils présentent, et sur les tracés stratigraphiques qui établissent les relations des divers terrains entre eux.

La stratification est *concordante* toutes les fois que les strates successifs de deux formations sont parallèles et superposés, de telle sorte qu'on en puisse conclure qu'aucun mouvement du sol, aucun déplacement ne s'est opéré dans l'intervalle de leur dépôt. Elle est *discordante*, au contraire, lorsque les couches d'une formation *b*, *c*, *d* (fig. 16) recouvrent celles de la formation sous-jacente, sans que les plans de stratification soient parallèles; cette discordance indique que le terrain le plus ancien avait déjà subi des dérangements quand le terrain postérieur a été déposé. La figure 17, qui représente un terrain stratifié en couches fortement inclinées, dont la base est recouverte

Fig. 16.

Fig. 17.

par un terrain postérieur en couches horizontales, démontre évidemment que le terrain culminant était formé et accidenté lorsque le terrain de la plaine a été lui-même déposé.

Subdivision de la série des dépôts sédimentaires. — On a reconnu, par cette étude géologique de la surface du globe, que la série des dépôts sédimentaires peut être subdivisée en formations successives, ces formations ayant été séparées par des mouvements du sol qui ont déplacé une partie des eaux, changé à un degré plus ou moins prononcé la carte géographique des surfaces émergées, et accidenté la stratification de tous les dépôts antérieurs.

Une *formation* comprend, suivant la définition de M. Élie de Beaumont, tous les dépôts qui se sont succédé dans l'intervalle compris entre deux révolutions du globe, c'est-à-dire entre deux époques de soulèvements.

M. de Humboldt définissait une formation comme comprenant une réunion de masses minérales tellement liées entre elles, qu'on les suppose formées à la même époque et que, dans toutes les contrées du globe, elles offrent les mêmes rapports de gisement.

Quant au mot *terrain*, il est employé dans la classification géognostique pour désigner des groupes de formations réunies entre elles par des analogies de gisement et de fossiles caractéristiques.

Ainsi, dans la série des dépôts sédimentaires, le *terrain* représente la grande unité et se subdivise en plusieurs *formations* qui peuvent elles-mêmes être composées de plusieurs *étages* distincts. Les étages se partagent en *assises* qui comprennent une suite de *couches*, subdivisibles elles-mêmes en divers *bancs*, *lits*, ou *sillons*.

Supposons l'observateur placé dans une contrée dont le sol serait composé de toutes les formations successives de la série sédimentaire; il explorera les vallées, les excavations de toute nature, et pour arriver à établir, par des coupes perpendiculaires à la direction générale des couches, la stratigraphie de

Digitized by Google

toutes les formations, il recherchera celles qui sont les plus faciles à reconnaître, tant par la nature et la constance de leurs caractères minéralogiques que par leurs minéraux accidentels et leurs fossiles caractéristiques. Ces formations bien caractérisées lui serviront d'*horizons géologiques* au-dessus et au-dessous desquels il rapportera toutes les autres.

Les horizons géologiques les plus remarquables par la netteté et la généralité de leurs caractères sont les terrains que l'on a appelés terrain houiller et terrain crétacé. Ces deux terrains marquent évidemment de longues périodes, pendant lesquelles les dépôts sédimentaires ont pris des caractères précis, et après lesquelles des mouvements violents de la surface ont déterminé une nouvelle distribution géographique des eaux et des dépôts sédimentaires.

Les dépôts qui ont précédé le terrain houiller forment, y compris ce terrain, une série que l'on a appelée *terrains de transition.*

A partir du terrain houiller, jusques et y compris le terrain crétacé, la série des dépôts constitue les *terrains secondaires.*

Enfin, entre le terrain crétacé et les alluvions de l'époque actuelle, se placent les *terrains tertiaires.*

Les dépôts sédimentaires forment donc trois séries successives, dont les caractères sont aussi différents que le comporte leur commune origine.

Les *terrains de transition* sont caractérisés par l'abondance des roches schisteuses et semi-cristallines subordonnées aux granites. Les gneiss, les micaschistes et les stéaschistes leur donnent un faciès spécial, que viennent compléter les nombreuses variétés de schistes argileux, dont la prédominance a fait donner à l'ensemble la dénomination de terrains schisteux. Les grauwackes, composées de fragments de granites, de quartz, de feldspath et de nombreux débris micacés, y sont également très-répandues.

Les calcaires, en assez faible proportion dans la majeure partie des terrains de transition, y sont saccharoïdes et cris-

Digitized by Google

tallins; et, lors même qu'ils sont compactes, leur fréquente coloration en gris, gris bleuâtre ou même en noir, leur donne une physionomie particulière.

Les quartzites, les grès micacés et feldspathiques forment, surtout dans les parties supérieures, des horizons géologiques remarquables.

Toutes ces roches en couches ordinairement de peu d'épaisseur et en alternances multipliées présentent une stratification accidentée, et souvent même contournée en festons nombreux.

Les calcaires et les schistes argileux contiennent assez fréquemment des débris de mollusques fossiles, très-différents des espèces actuelles; les plus caractéristiques sont des trilobites, des encrines, des polypiers, des productus, des orthocères, des spirifères, etc. Les fossiles végétaux jouent également un rôle important dans les formations supérieures qui contiennent des couches d'anthracite et de houille.

Les caractères variables de la composition, les débris organiques et l'étude comparative de la stratification ont permis de reconnaître, dans la série des dépôts de transition, plusieurs formations très-distinctes.

Les *terrains secondaires* sont composés de roches qui, dans leur ensemble, ont des caractères tout à fait différents. Les calcaires compactes y sont généralement dominants; ils alternent avec des marnes et des argiles délayables et plastiques, avec des roches arénacées, dans lesquelles le feldspath et le mica sont devenus rares et dont le quartz est l'élément principal.

La stratification, quoique généralement accidentée, ne présente plus qu'exceptionnellement, et dans les pays de montagne, les dispositions contournées habituelles aux terrains schisteux. On reconnait que ces terrains ont été déposés dans des bassins plus concentrés, dont les terrains de transition forment l'encaissement.

Les fossiles y sont d'une abondance remarquable et souvent caractéristiques. Ainsi les bélemnites, les ammonites, les térébratules, les gryphées, et beaucoup d'autres mollusques, nais-

sent et meurent dans les terrains secondaires. On y rencontre les animaux vertébrés représentés par des sauriens. Les minéraux accidentels y ont des caractères spéciaux : ce sont le sel gemme, le gypse et des combustibles minéraux qui sont ligniteux, et n'ont déjà plus la composition des anthracites et des houilles qui caractérisent les dernières formations de la période précédente.

L'étude de la stratification et des contours géographiques que présentèrent les bassins successifs dans lesquels ils ont été déposés ont permis de diviser les terrains secondaires en formations nombreuses.

Dans les *terrains tertiaires*, les roches font encore un pas plus prononcé vers les conditions des dépôts actuels. Les calcaires sont moins compactes que ceux de la période secondaire, souvent à tissu lâche et grossier, et, souvent aussi, mélangés de principes siliceux ou argileux. On y trouve en abondance des marnes foliacées, des argiles plastiques ou smectiques, des grès siliceux, des sables et cailloux roulés incohérents, qui alternent avec les couches calcaires.

Les dépôts tertiaires forment ordinairement des bassins circonscrits et des pays de plaine ; les grandes dislocations y sont exceptionnelles.

Les fossiles se rapprochent d'une manière prononcée de l'organisation de l'époque actuelle. Une multitude de coquilles ont permis de reconnaître que, parmi les dépôts marins caractérisés par des cérites, des cythérées, des cardiums etc., il existe des dépôts lacustres caractérisés par des coquilles d'eau douce, telles que les lymnées et les planorbes. Parmi les débris d'animaux vertébrés, figurent ceux des premiers mammifères qui appartiennent principalement à des espèces pachydermes, c'est-à-dire se nourrissant de végétaux.

Les *terrains alluviens* terminent cette série par des dépôts tout à fait analogues à ceux que les eaux courantes et les eaux de la mer produisent sous nos yeux. Ce sont des sables et des cailloux roulés dont on distingue souvent la provenance plus ou

moins éloignée, et des dépôts limoneux comparables à ceux des deltas et des estuaires des grands fleuves.

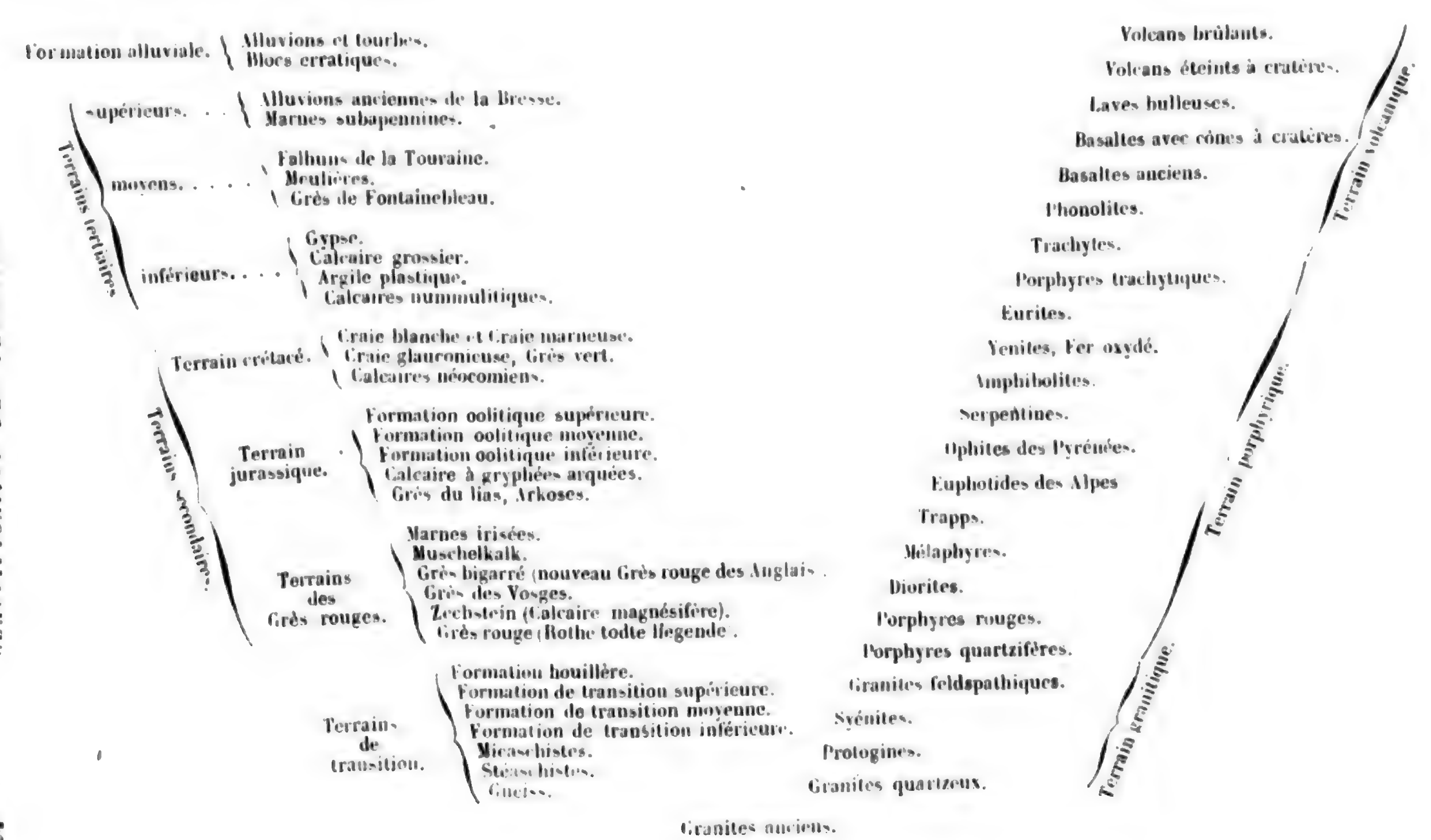
La disposition de ces dépôts alluviens concorde, pour la majeure partie, avec celle des vallées actuelles, dans lesquelles ils paraissent avoir été formés par des courants diluviens; ceux qui sont dus à des eaux marines forment des pays de plaines peu élevées au-dessus du niveau actuel des mers.

Les débris organiques trouvés dans les alluvions ont une analogie complète avec les espèces vivantes, et, parmi les vertébrés, se trouvent d'abondants débris de carnassiers.

Ainsi la succession des dépôts sédimentaires commence par des terrains tout à fait différents de ceux dont nous pouvons concevoir la formation par l'action des eaux, et se continue par des dépôts qui, se rapprochant de plus en plus de ceux de notre époque, finissent par se confondre avec eux.

Pendant toute cette série de dépôts, les actions éruptives n'ont pas cessé d'envoyer à la surface des roches ignées; ces roches, qui, dans les premiers âges géologiques, se confondent avec les produits sédimentaires, deviennent de plus en plus distinctes, de telle sorte que, si les deux séries parallèles se présentent comme soudées et confondues vers leur base, elles sont de plus en plus divergentes à mesure qu'on s'élève des terrains les plus anciens vers les plus modernes.

Le tableau ci-après, disposé à ce point de vue, résume donc la composition de l'écorce terrestre.


Terrains tertiaires
Formation alluviale.
Alluvions et tourbes.
Blocs erratiques.
supérieurs.
Alluvions anciennes de la Bresse.
Marnes subapennines.
moyens.
Falhuns de la Touraine.
Meulières.
Grès de Fontainebleau.
inférieurs.
Gypse.
Calcaire grossier.
Argile plastique.
Calcaires nummulitiques.
Terrains secondaires.
Terrain crétacé.
Craie blanche et Craie marneuse.
Craie glauconieuse, Grès vert.
Calcaires néocomiens.
Terrain jurassique.
Formation oolitique supérieure.
Formation oolitique moyenne.
Formation oolitique inférieure.
Calcaire à gryphées arquées.
Grès du lias, Arkoses.
Terrains des Grès rouges.
Marnes irisées.
Muschelkalk.
Grès bigarré (nouveau Grès rouge des Anglais).
Grès des Vosges.
Zechstein (Calcaire magnésifère).
Grès rouge (Rothe todte liegende).
Terrains de transition.
Formation houillère.
Formation de transition supérieure.
Formation de transition moyenne.
Formation de transition inférieure.
Micaschistes.
Stéaschistes.
Gneiss.
Granites anciens.
Volcans brûlants.
Volcans éteints à cratères.
Laves bulleuses.
Basaltes avec cônes à cratères.
Basaltes anciens.
Phonolites.
Trachytes.
Porphyres trachytiques.
Eurites.
Yenites, Fer oxydé.
Amphibolites.
Serpentines.
Ophites des Pyrénées.
Euphotides des Alpes
Trapps.
Mélaphyres.
Diorites.
Porphyres rouges.
Porphyres quartzifères.
Granites feldspathiques.
Syénites.
Protogines.
Granites quartzeux.
Terrain volcanique.
Terrain porphyrique.
Terrain granitique.

Les terrains de sédiment constituent de préférence les contrées peu accidentées, telles que les grands bassins géologiques où se sont déposées concentriquement les formations secondaires et tertiaires. Si l'on examine, par exemple, la carte géologique de la France, on voit que Paris et Bordeaux sont placés au centre de bassins, déterminés à la fois par des lignes géologiques et hydrographiques, et dans lesquels le sol est peu accidenté. Les roches sédimentaires constituent exclusivement le sol de ces bassins, et, si l'on vient à y pratiquer des puits ou sondages profonds, on ne rencontre, au-dessous des dépôts sédimentaires de la surface, que les dépôts plus anciens dont l'existence sous-jacente est d'ailleurs indiquée par les affleurements du littoral. Si tous ces terrains s'étaient superposés sans lacunes, on pourrait ainsi parcourir la série des terrains de sédiment, sans rencontrer aucune roche ignée avant les termes inférieurs de la série.

Les roches ignées ont, au contraire, une grande part dans la composition des contrées saillantes et accidentées où se montrent les terrains de transition. A l'approche de ces contrées, telles que les Vosges, les Pyrénées, les Alpes, la Bretagne et le plateau central, contrées montagneuses où les cours d'eau prennent leur source, les roches sédimentaires sont fréquemment bouleversées et traversées par des roches éruptives.

De cette classification distincte des roches éruptives et des roches sédimentaires, il résulte que le géologue est constamment amené à rechercher l'origine des masses minérales. Les différences de composition de texture et de structure, les conditions si distinctes du gisement, fournissent des indications nombreuses qui permettent de retrouver facilement les conditions de cette origine. Toutefois les roches métamorphiques, qui participent à la fois des unes et des autres, viennent établir entre les deux classes de roches ce passage qui existe dans presque toutes les distinctions de l'histoire naturelle.

Roches métamorphiques. — Les roches métamorphiques résultent évidemment des phénomènes d'altération qui ont eu

Digitized by Google

lieu dans les roches de sédiment, suivant leurs plans de contact avec les roches éruptives et jusqu'à des distances considérables de ces plans. Ainsi on peut comparer les faits si variés du métamorphisme à ceux qui établissent les passages dans tous les phénomènes d'altération par le feu : lorsqu'on retire, par exemple, du creuset d'un haut fourneau, les roches réfractaires qui ont servi à le construire, la paroi interne est altérée, et présente une certaine épaisseur de matière fondue, composée du mélange de la roche altérée avec les matières soumises à la fusion dans le creuset, tandis qu'à l'extérieur la surface est restée parfaitement saine. Si l'on étudie la texture intérieure de ces roches, on voit qu'entre l'état naturel et l'état complétement altéré il y en a d'intermédiaires, qui établissent la transition et sont analogues, à la fois comme caractères et peut-être comme origine, aux phénomènes du métamorphisme.

Les roches métamorphiques appartiennent à toutes les époques; elles sont plus fréquentes et plus développées dans les terrains de transition, mais les terrains secondaires et tertiaires en contiennent également de très-étendues et de très-puissantes dans les contrées où ils ont été soulevés et traversés par les roches éruptives. Comme classification, ces roches altérées se rattachent naturellement aux phénomènes éruptifs dont elles dérivent.

Les roches métamorphiques ne représentent pas seulement les altérations de texture et de structure des roches de sédiment, il s'y joint encore des modifications très-variées dans la composition. Sous ce rapport, le métamorphisme des dépôts calcaires, qui, par leurs caractères minéralogiques, sont les plus faciles à distinguer des roches ignées, est d'une étude très-importante.

Le plus souvent, le métamorphisme des calcaires se manifeste par une texture semi-cristalline, dont l'intensité varie depuis la texture saccharoïde jusqu'à la texture lamelleuse et clivable ; ces modifications sont du nombre de celles que nous pouvons faire subir artificiellement aux calcaires les plus terreux, elles

Digitized by Google

doivent résulter nécessairement de l'action simultanée du calorique et de la pression. Dans ces calcaires métamorphiques, les débris organiques sont adhérents et semblent fondus avec la roche, ils cessent même d'être perceptibles quand la texture est franchement cristalline ; la stratification des calcaires cristallins est également moins sensible, leur structure est massive, et les fissures affectent une disposition qui rappelle souvent les fentes dues à un retrait, plutôt que les divisions de la stratification.

Un second degré de métamorphisme, beaucoup plus local et plus accidentel, est le mélange de la roche calcaire avec la roche ignée qui l'a modifiée : ainsi, dans la vallée de Campan, la serpentine des Pyrénées se mélange avec le calcaire et donne naissance aux marbres verts. Ce genre d'altération s'explique de lui-même et confirme l'origine attribuée au premier, puisque l'effet immédiat et incontestable de ce contact intime est de donner au calcaire la même texture cristalline qui se manifeste aussi à des distances considérables.

Quelquefois les calcaires, placés dans les mêmes relations de contact avec des roches ignées, sont pénétrés d'un ou de plusieurs principes cristallins qui appartiennent exclusivement à ces roches. Ainsi il y a des calcaires mélangés de petits cristaux de feldspath et de mica (col du Bon-Homme) ; d'autres sont pénétrés de pyroxène (Traverselle), d'amphibole (Arendal), de talc ou de stéatite (vallée de Chamonix), d'épidote (vallée d'Ala et d'Arendal), etc. Ce métamorphisme est une véritable pénétration minéralogique : il a rarement lieu sur une échelle considérable. Il arrive, peut-être encore plus souvent, que ces réactions de contact ont donné naissance à des minéraux étrangers aux roches ignées comme aux roches de sédiment : tels sont les spinelles (Aker), les grenats (Arendal), le diallage, le graphite, la controdite, et certaines substances métallifères, telles que la pyrite, le cobalt arsenical (Tunaberg), la galène, le fer oxydulé, etc.

Le fait le plus remarquable et le plus général de ces transformations est le changement des calcaires en dolomies. Il a

Digitized by Google

lieu sur une échelle immense dans le Tyrol, où les puissantes assises calcaires du terrain jurassique ont été à la fois bouleversées et changées en dolomies par la sortie des mélaphyres. M. de Buch a fait ressortir l'intime connexion qui paraît exister entre les mélaphyres de cette contrée et le changement des calcaires en dolomies. Cette transformation n'est pas d'ailleurs un fait particulier au Tyrol; elle existe presque constamment en Angleterre, en France, en Italie, etc., vers le contact des roches ignées magnésiennes avec les calcaires. Ce qu'il y a de remarquable dans ce fait, c'est qu'il tend à démontrer que ces influences de métamorphisme chimique ont pu avoir lieu, comme celles du métamorphisme purement mécanique qui a produit les marbres, à des distances souvent très-considérables des plans de contact.

Ces divers degrés de métamorphisme du calcaire doivent exister naturellement pour toutes les autres roches; seulement ils y sont moins saillants, parce que, les caractères premiers étant définis d'une manière moins absolue, on ne peut y apprécier avec autant de certitude les faits de transformation. Toujours est-il que l'on a pu constater avec certitude les altérations des roches quartzeuses, telles que le changement du grès à tissu arénacé en quartz compacte ou quartzite; modification qui se produit d'une manière analogue dans les fourneaux de nos usines, et qui représente le degré le plus simple du métamorphisme. Comme dans les marbres, la stratification des quartzites métamorphiques a disparu, leur structure est devenue massive et fragmentaire. La pénétration de principes cristallins, tels que la tourmaline, le mica (Cornwall), le talc, le diallage, le grenat (Alpes), est un fait d'ailleurs très-fréquent, ainsi que celle de principes métallifères, galène, blende, etc.

Les roches argileuses, d'une composition plus compliquée que les précédentes, présentent, dans leur métamorphisme, des faits encore plus variés. Ainsi, dans le degré le plus simple, elles sont devenues dures et indélayables : c'est le schiste argileux. Le mica, qui, par sa décomposition, avait fourni une

Digitized by Google

partie des éléments sédimentaires de ces roches, y cristallise de nouveau; les particules de quartz se recherchent, se rassemblent en veines et en nodules amygdalins; la roche passe au micaschiste. Les éléments feldspathiques, qui peuvent également exister dans les roches argileuses, cristallisent, et déterminent le passage au gneiss. Les granites, antérieurement décomposés et détruits par l'action des eaux, sont ainsi reconstitués par le métamorphisme, et ces nouvelles roches ne conservent plus d'autre indice de leur nature sédimentaire que la structure fissile et feuilletée qui les caractérise.

Ainsi donc l'étude du métamorphisme conduit à conclure qu'aux époques géognostiques les plus reculées, et dont les produits sédimentaires ne sont parvenus jusqu'à nous que profondément modifiés par des actions postérieures, les dépôts appartenaient, comme dans les périodes plus récentes, à des éléments calcaires, quartzeux ou argileux. Cette étude nous explique d'avance comment il a pu se faire que les terrains jurassiques et crétacés des Alpes, qui, d'après l'analogie avec la plupart des dépôts de ces époques, devraient présenter ces trois roches à l'état lithoïde et terreux, aient pu prendre la texture cristalline et emprunter l'apparence des terrains de transition.

La plupart des substances cristallisées qui composent les collections minéralogiques appartiennent à des roches métamorphiques. Ainsi les minéraux variés de l'Oisans, la prehnite, l'épidote, le quartz prismé, l'albite, l'anatase, etc., sont rassemblés dans les cavités d'une argile du terrain jurassique, devenue, sous l'influence des granites postérieurs, un stéaschiste cristallin. Les cristaux si variés du Vésuve, l'idocrase, le mica, l'amphibole, le grenat, la vollastonite, la néphéline, le feldspath, etc., ne sont pas rejetés par le volcan; ils appartiennent aux tufs métamorphiques de la Somma. Les minéraux du Saint-Gothard, le disthène, la staurotide, l'albite, etc.; ceux de la vallée d'Ala en Piémont, d'Arendal en Norvége, etc., proviennent des roches calcaires, quartzeuses et surtout argileuses à l'état métamorphique.

CHAPITRE III

TERRAINS DE TRANSITION.

FORMATION DE TRANSITION INFÉRIEURE ; FORMATION MOYENNE OU SILURIENNE ; FORMATION SUPÉRIEURE, DEVONIENNE OU ANTRAXIFÈRE ; FORMATION HOUILLÈRE.

La division en terrains de transition secondaires ou tertiaires est la première étude géologique à faire dans une contrée. Cette division établit les principales distinctions minéralogiques que peut présenter la composition du sol, et détermine en outre les rapports qui existent toujours entre cette composition et les principaux traits de sa configuration et de sa constitution physique.

Le tracé des terrains de transition est en effet le trait le plus essentiel de la structure d'une contrée, parce qu'il détermine les limites des bassins géologiques dans lesquels se sont déposés les terrains secondaires et tertiaires. Prenons la France pour exemple :

Il existe sur le sol de France cinq contrées ou massifs formés par les terrains de transition. Ces cinq contrées, les plus élevées du pays, en dominent toute l'étendue par leur altitude, et forment en quelque sorte les bords des vastes bassins géologiques dans lesquels les terrains postérieurs ont été déposés : ce sont : le plateau central, les Vosges, le massif de la Bretagne et les axes culminants des Alpes et des Pyrénées, toutes précisément composées des terrains les plus anciens, soulevés au-dessus des terrains secondaires et tertiaires.

La vaste contrée de transition, désignée sous la dénomination de plateau central, est celle dont le relief contribue à

donner à la France ses caractères physiques les plus prononcés.

Ce plateau forme une gibbosité dont la surface ondulée se maintient à une altitude moyenne de 500 à 800 mètres au-dessus du niveau de la mer ; dans les parties les plus élevées les granites s'élèvent à 1000 et 1200 mètres, et les terrains volcaniques qui ont traversé en plusieurs points les terrains de transition portent à 1500 et à plus de 1800 mètres les sommités culminantes d'où rayonnent les nombreux cours d'eau qui y prennent leurs sources, tels que la Loire, l'Allier, le Lot, la Dordogne, l'Ardèche, etc.

Le plateau central comprend le Limousin, l'Auvergne, le Forez, le Vivarais et les Cévennes. Sa vaste protubérance domine et encaisse les terrains secondaires du Nord, de l'Est, de l'Ouest et du Midi, et, si l'on compare les caractères de sa surface avec ceux des surfaces secondaires, on est frappé des contrastes que présente cette comparaison.

Le sol de transition, plus élevé que ceux qu'il encaisse et plus accidenté, est plus froid et moins fertile ; les pentes des vallées et des versants sont plus fortes que dans les terrains secondaires et tertiaires qui tendent au contraire à former des plateaux ; les cours d'eau y sont multipliés, très-ramifiés et tor-

Fig. 18.

rentiels ; les roches souvent dénudées sont généralement semi-cristallines et affectent des stratifications inclinées et contournées dont la figure 18 indique le caractère.

Digitized by Google

Ces caractères généraux du sol ne se trouvent modifiés que dans certaines vallées très-profondes qui ont été remplies par des dépôts tertiaires et alluviens. Ces grandes vallées, caractérisées par un climat plus doux, par un sol plus uni et plus fertile, sont formées de roches calcaires et argileuses, et semblent des oasis clair-semées dans une contrée âpre et rocheuse. Telles sont les vallées de la Limagne et d'Aurillac en Auvergne, celles de Brioude et du Puy en Vélay. Lorsque ce sont les terrains secondaires qui pénètrent dans le plateau de transition, il existe un contraste différent, mais non moins remarquable, tel que celui des plateaux calcaires, ou *causses* de Milhau, Mende et Marvejols, avec les crêtes et les massifs culminants des terrains schisteux et granitiques de la Lozère et des Cévennes.

Ces contrastes sont encore bien plus prononcés, lorsqu'on vient à comparer l'ensemble du plateau central avec la contrée du nord de la France, vaste bassin taillé en creux et dont la surface si peu élevée au-dessus du niveau de la mer est sillonnée par des cours d'eau volumineux et peu rapides. Le sol, formé par des roches poreuses en couches peu inclinées, parmi lesquelles dominent les calcaires, les marnes et les argiles, est généralement fertile ; un climat plus doux joint à ces conditions favorables a fixé sur le sol de ce bassin la population la plus nombreuse et déterminé le principal développement des richesses du pays. En comparant ainsi les contrées de transition avec les bassins secondaires et tertiaires dont Paris, Bordeaux et Marseille occupent le centre, on est en même temps frappé des contrastes que présente la population pauvre, simple et agreste de nos montagnes, avec les populations commerçantes et manufacturières des bassins de la Seine et de la Loire, de la Gironde et du Rhône.

Les autres contrées de transition reproduisent avec des détails variables ces caractères généraux de la surface du plateau central de la France.

Dans les Vosges, les roches granitiques forment des mon-

Digitized by Google

tagnes arrondies et culminantes que l'on appelle les *ballons*, elles sont enveloppées d'un manteau de roches schisteuses qui forment autour d'elles des zones plus ou moins étendues avant d'être recouvertes par les dépôts secondaires. Cette haute région des terrains schisteux est celle des terrains vagues couverts de bruyères et de maigres pâturages, et celle des forêts de sapins. Le massif des montagnes de la forêt Noire est formé des mêmes éléments et présente les mêmes caractères, bien différents de ceux des terrains plus récents qui forment la vallée du Rhin.

Le Rhin, après avoir passé entre les Vosges et la forêt Noire, traverse les dépôts de grès rouges et bigarrés secondaires du sein desquels ces deux massifs de terrains cristallins et schisteux semblent surgir comme des ilots protubérants; bientôt après on rencontre sur la rive droite les terrains de transition de l'Odenwald, et plus bas la vallée se trouve creusée depuis Bingen jusqu'aux approches de Bonn, dans une vaste contrée de terrains schisteux que l'on appelle le massif de transition du Rhin, et qui comprend les quatre provinces du Hundsruck, de l'Eiffel, du Taunus et du Westerwald.

Ce massif rhénan présente quelques caractères particuliers. Sa surface est sillonnée d'une multitude de crêtes rocheuses et de plateaux cannelés sur lesquels on ne remarque que peu de points culminants. C'est une contrée plissée dont les ondulations déterminent des vallées qui suivent une direction générale du nord-est au sud-ouest, c'est-à-dire perpendiculaire à celle du Rhin. La vallée de la Moselle suit cette direction de Trèves à Coblentz, malgré les festons multipliés que les eaux sont obligées de décrire pour passer entre les crêtes rocheuses qui forment la surface du sol. De l'autre côté du Rhin, les vallées de la Lahne et de la Sieg reproduisent la même direction qui se trouve encore marquée par les limites des terrains secondaires vers le nord-ouest et le sud-est du massif.

Malgré l'absence de points culminants et de ce qu'on peut appeler des centres de soulèvement, le caractère de surélévation

Digitized by Google

du massif de transition, au-dessus des terrains secondaires qui suivent ses lisières, est très-apparent. Il est à remarquer que l'absence des roches granitiques concorde avec cette absence de points culminants.

Le terrain de transition du massif rhénan est plus stratifié que celui de notre plateau central; on y remarque surtout une grande abondance de roches arénacées, telles que les grauwackes, les grès schisteux et les schistes argileux qui dominent beaucoup les gneiss et les micaschistes.

Les mêmes caractères de structure et de composition se reproduisent dans le massif schisteux de la Bretagne, de la Normandie et de la Vendée.

Ce massif forme une presqu'île détachée des terrains secondaires, suivant une ligne jalonnée par les villes de Bayeux, Falaise, Alençon, Angers et Parthenay. Il constitue une contrée surélevée, mais qui n'atteint pas de grandes hauteurs et ne présente pas de centres de soulèvement remarquables. C'est un plateau dont les ondulations multipliées sont indiquées par les profondes découpures des côtes et par la multiplicité des cours d'eau qui forment à sa surface un réseau des plus compliqués, et que les pentes du sol rejettent vers les vallées de la Seine et de la Loire ou vers la mer.

Les granites, gneiss et micaschistes, les grès, les quartzites et les schistes argileux constituent la surface de ce vaste plateau et y indiquent par leurs dispositions relatives la succession de plusieurs formations.

Les granites et les roches de transition, qui forment l'axe minéralogique des Alpes et des Pyrénées, ont été soulevés à travers les terrains beaucoup plus modernes qui les recouvraient, et les bouleversements qui ont accompagné leur apparition au jour ont ajouté des perturbations nouvelles dans la stratification des terrains soulevés, déjà bouleversée par des mouvements antérieurs.

Cette position des terrains schisteux et granitiques soulevés au-dessus du niveau des neiges éternelles et formant des axes

Digitized by Google

culminants dont les cimes les plus escarpées pointent à travers les glaciers, semble imprimer un caractère physique particulier aux terrains de transition de ces grandes chaînes. Leurs zones linéaires forment des contrées en partie inaccessibles, qu'on ne peut traverser que par quelques cols, et pourtant ce sont les mêmes roches schisteuses et granitiques qui forment les terrains montueux, mais bien moins élevés du plateau central, et qui, sur les côtes de la Bretagne et de la Normandie, s'enfoncent au-dessous du niveau de l'Océan.

Classification des terrains de transition. — Dans toutes les contrées du globe, les roches granitiques, qui paraissent former sa première enveloppe cristalline, sont recouvertes par des dépôts stratifiés, schisteux et semi-cristallins, qui constituent les terrains de transition proprement dits.

Ces premiers dépôts schisteux et semi-cristallins semblent donc former eux-mêmes une enveloppe presque continue à la surface du globe.

La composition des terrains de transition est partout identique, si l'on compare entre elles les diverses parties du monde, c'est-à-dire de vastes surfaces où la série de ces dépôts est complétement représentée. Mais, si l'on se borne à comparer des districts de peu d'étendue, cette composition est très-variable suivant que l'on examine les parties inférieures ou supérieures des dépôts. Ainsi la succession générale des roches, à partir des granites anciens, peut être établie ainsi qu'il suit :

Calcaire et grès quartzeux.
Grauwackes et quartzites.
Schistes argileux.
Micaschistes.
Granites anciens et gneiss.

Toutes ces roches forment des couches qui peuvent alterner ensemble un grand nombre de fois, mais de telle sorte, que celles qui dominent et donnent au terrain son principal carac-

tère se succèdent dans l'ordre indiqué depuis les gneiss cristallins de la base jusqu'aux roches arénacées et calcaires.

Ainsi les terrains principalement composés de gneiss et de micaschistes peuvent être considérés généralement comme plus anciens que ceux dans lesquels dominent les schistes argileux, les quartzites et les grauwackes, tandis que la prédominance des calcaires et des grès quartzeux caractérise les dépôts de transition encore supérieurs.

On peut dire également que les terrains de transition sont généralement d'autant plus cristallins qu'ils sont plus anciens.

Enfin, la présence des fossiles fournit encore des moyens de comparaison et de classification.

Les terrains de transition semi-cristallins, dans lequels dominent les gneiss, les micaschistes et les stéaschistes, ne contiennent pas de fossiles; les terrains d'âge moyen, et principalement les schistes argileux et les quartzites, contiennent souvent des trilobites, des débris d'encrines, des spirifères; enfin les terrains supérieurs, comprenant principalement des schistes argileux avec grauwackes, des calcaires et des grès, contiennent, outre les fossiles précédents, des orthocères, des évomphales, des productus, des bellérophons et des polypiers assez variés.

En joignant à ces éléments de distinction et de classification ceux que peut fournir la stratification des couches et la délimitation des bassins sédimentaires où se sont effectués les dépôts, on a pu reconnaître que les terrains de transition proprement dits appartenaient à trois périodes distinctes.

On a donc divisé ces terrains de transition en trois formations que l'on désigne sous les dénominations d'*inférieure*, *moyenne* et *supérieure*, et quelquefois aussi sous celles de formations *cambrienne*, *silurienne* et *devonienne*.

La formation *houillère*, qui vient se superposer à la formation de transition supérieure ou devonienne, constitue une quatrième division, de telle sorte que la série totale des terrains de transition peut être représentée par le tableau ci-joint, auquel nous ajoutons quelques citations locales pour pré-

Digitized by Google

ciser autant que possible la composition de chacune des formations.

Formation houillère.	Argile schisteuse et grès avec couches de houille. Grès houiller.
Formation de transition supérieure, devonienne ou anthraxifère. . .	Grès, schistes et calcaires anthraxifères. Calcaire carbonifère. Vieux grès rouge.
Formation moyenne ou silurienne.	Calcaires compactes, esquilleux, semi-cristallins (Dudley, environs de Brest). Grauwackes avec fossiles. Schistes argileux (d'Angers, etc.). Quartzites (Bretagne, Normandie, etc.)
Formation de transition inférieure.	Grauwackes. Schistes argileux (de la Manche et des Ardennes, etc.). Gneiss et micaschistes.

Les terrains de transition et les terrains granitiques, dont on ne peut les isoler, couvrent en France environ seize millions d'hectares, sur une superficie totale de cinquante-deux millions, c'est-à-dire plus du tiers de la superficie totale.

Dans toutes les parties du monde, ces terrains conservent une importance analogue. Ainsi, au nord de l'Europe, ils constituent le massif scandinave, comprenant la Suède et la Norvége ; dans les îles Britanniques, les terrains de transition du Cornwall, ceux de l'est de l'Irlande et de la chaîne qui sépare l'Angleterre et l'Écosse, forment l'encaissement septentrional du grand bassin secondaire qui couvre le nord de la France et le sud de l'Angleterre. Dans l'Europe centrale, les groupes et les chaînes de montagnes du Hartz, de l'Erzgebirge, de la Silésie, de la Hongrie, etc., montrent les terrains de transition soulevés à travers les immenses dépôts secondaires et tertiaires qui en ont couvert la surface. Nous les retrouvons vers les limites qui séparent l'Europe de l'Asie, dans les chaînes de l'Oural et de l'Altaï ; au sud, ils dominent en Espagne, dans les Asturies, la Galice, les Castilles, l'Andalousie, etc. On les trouve en Corse, en Sardaigne, en Grèce et sur une multitude de points qu'il serait trop long d'énumérer.

Ce sont les terrains de transition qui constituent la presque totalité de l'Amérique du Sud, et dans l'Amérique du Nord ils forment un immense bassin qui s'étend de Tusculaosa jusque vers le Canada, et qui est latéralement encaissé par les Alleghanis et les montagnes Rocheuses.

A en juger par la puissance considérable des dépôts accumulés sur ces vastes surfaces, la période de transition dut être une des plus longues périodes géologiques.

Chaque contrée de transition présente des caractères particuliers qui résultent de la prédominance de certaines roches. Ainsi le plateau central de la France a un caractère éminemment granitique : les gneiss, micaschistes et stéaschistes, c'est-à-dire les roches les plus métamorphiques, sont celles qui dominent ; on y trouve le quartz en dykes, filons, veines ou nodules. Dans le massif de la Bretagne et du Cotentin, les quartzites stratifiées et les schistes argileux donnent au terrain une physionomie plus sédimentaire. Les grauwackes très-développées du massif rhénan et du Hartz déterminent encore une apparence particulière, de telle sorte que, malgré la similitude minéralogique qui existe entre les roches de transition de tous les pays, chacun d'eux présente cependant des caractères spéciaux.

L'étude des terrains de transition est, en effet, une étude principalement minéralogique. Les fossiles y sont rares, la stratification est souvent confuse et toujours tellement tourmentée, qu'il est difficile de la suivre et d'en tirer des conclusions de quelque intérêt. Mais, sous le rapport minéralogique, les éléments d'observation sont plus multipliés et plus variés que dans tout autre terrain.

Ce sont les roches métamorphiques des terrains de transition qui contiennent les minéraux accidentels les plus nombreux et les plus variés. Ainsi, indépendamment des gîtes métallifères dont nous ferons une étude spéciale, que de minéraux s'y rencontrent en géodes, en nodules, en petites veines adventives ! Dans les roches elles-mêmes, que de variations minéralogiques

Digitized by Google

qui donnent aux courses géologiques, faites sur le terrain de transition, un intérêt que les terrains postérieurs sont loin de présenter !

Beaucoup de géologues attachent peu d'importance aux terrains de transition, parce qu'ils contiennent peu de fossiles, et fournissent, par conséquent, moins d'éléments aux considérations zoologiques. C'est seulement dans les dépôts supérieurs que les trilobites, les encrines, les productus, les spirifères et autres débris organiques sont assez nombreux pour attirer leur attention. Pour celui qui étudie de préférence la géologie minérale, les roches de transition si étendues, puisqu'elles couvrent un quart ou un cinquième des surfaces continentales, sont au contraire d'autant plus intéressantes qu'elles sont plus métamorphiques, plus cristallines et plus intimement liées aux roches granitiques dont les réactions les ont pénétrées de minéraux variés et leur ont donné des caractères si mobiles de composition et de structure.

L'intérêt que présentent beaucoup de chaînes de montagnes soulevées à travers les terrains secondaires, telles que les Alpes, résulte en grande partie des roches schisteuses qui avoisinent leurs axes et leurs centres de soulèvement granitiques, roches qui se confondent sur beaucoup de points avec les véritables roches de transition. Ainsi le massif du mont Blanc, formé de protogines et de schistes cristallins, soulevé à travers une épaisseur considérable de terrains jurassiques, semble avoir exercé autour de lui une action métamorphique tellement énergique, qu'on ne peut préciser où se terminent les schistes cristallins de transition qui ont accompagné l'axe granitique, et où commencent les dépôts que l'on doit attribuer à la période jurassique. Ce problème lithologique, qui se présente sur tout le périmètre des grandes Alpes et dont la solution ne pourra jamais être tracée, suffit pour donner à l'étude de ces montagnes un intérêt qui y ramène sans cesse les observateurs.

Indépendamment de cette étude des formations, que de questions lithologiques se présentent à chaque pas et devant chaque

Digitized by Google

roche de ce grand massif cristallin ! Où placer la ligne séparative des granites d'origine ignée, avec les stéaschistes et les micaschites qui les enveloppent ? Les stéaschistes et les quartz épidotifères sont-ils des dépôts de sédiment, profondément modifiés par le contact du massif éruptif, ou ne font-ils pas eux-mêmes partie des roches ignées ? Les granites et les quartz du Talèfre qui contiennent du molybdène sulfuré, ne sont-ils pas des roches véritablement éruptives, aussi bien que les roches cristallines des Aiguilles rouges surchargées d'oxydes de fer et de titane ? Que de questions de cette nature, depuis les protogines du mont Blanc, jusqu'aux poudingues de Valorsine, dont les couches inclinées et verticales, examinées par M. de Saussure, lui donnèrent la première pensée de la formation des Alpes par voie de soulèvement !

Cependant l'étude des terrains de transition n'est pas exclusivement minéralogique, et celles que l'on peut faire sur la stratification et sur l'allure des couches conduisent aussi à reconnaître la succession géognostique des dépôts.

Parmi les caractères géognostiques que présentent ces dépôts, un des plus remarquables est la concentration successive des bassins.

Ainsi les terrains semi-cristallins de la période inférieure forment autour du globe une enveloppe presque générale, qui n'est interrompue que par les roches éruptives, et, sur cette enveloppe continue, les terrains à fossiles de la période silurienne ont formé des bassins vastes, mais circonscrits.

Sur les terrains schisteux déposés pendant ces deux premières périodes, les dépôts arénacés et souvent anthraxifères de la période devonienne marquent l'emplacement de bassins moins étendus et plus clair-semés.

Enfin la période houillère a superposé à tous les terrains de transition proprement dits des bassins encore plus circonscrits et sporadiques qui indiquent une plus grande concentration et une plus grande subdivision des dépôts.

Ce caractère de décroissement progressif, de concentration et de dispersion des dépôts, donne une grande unité à la période

Digitized by Google

de transition qui se termine ainsi par les terrains sédimentaires qui accusent la plus grande et la plus longue tranquillité dont ait joui la surface terrestre. Cette longue tranquillité est attestée par le développement prodigieux et général d'une végétation qui a mêlé ses produits à ceux de l'érosion, et donné naissance aux couches de houille.

Nous préciserons successivement par quelques détails géognostiques les caractères de chacune des quatre formations qui constituent la série des terrains de transition.

FORMATION DE TRANSITION INFÉRIEURE.

Les caractères de cette formation résultent principalement de sa composition minéralogique en roches schisteuses, à peu près identiques dans toutes les parties du globe, et qui se lient par des passages insensibles aux roches granitiques anciennes qui les supportent. On peut ajouter que ces roches schisteuses, généralement plus cristallines que celles de la formation silurienne, ne contiennent point de débris organiques. Enfin, leur stratification est toujours moins nette et plus tourmentée que celle des formations supérieures, et les couches semblent former une enveloppe continue au-dessus des granites plutôt que des bassins limités et d'une forme déterminable.

On a quelquefois essayé de distinguer de cette formation les terrains tout à fait inférieurs et métamorphiques qui constitueraient ce que l'on peut appeler les roches *primitives*. Mais cette distinction n'est réellement pas possible, en ce sens que tous ces terrains, d'autant plus cristallins qu'ils sont plus rapprochés des granites, ont des caractères de stratification à peine saisissables. Il est certain, d'ailleurs, que cette première classe de roches de transition peut comprendre des dépôts plus modernes que nous ne le supposons, dépôts qui doivent leurs caractères à des altérations postérieures; mais les distinctions toujours contestables que l'on pourrait faire à cet égard ne peuvent conduire

à aucune application utile, et il est plus simple de comprendre tous les terrains semi-cristallins et sans fossiles dans une même formation inférieure.

Si, comme on le suppose, les granites formèrent autour du globe en fusion une enveloppe continue qui fut la première consolidée par son refroidissement, on doit admettre que les eaux, en se condensant et s'étendant sur la surface, la trouvèrent d'abord régulière et couverte de peu d'aspérités. Les eaux durent, en conséquence, exercer leur action érosive et sédimentaire d'une manière d'abord presque générale, et donnèrent naissance aux roches mixtes, directement émanées des granites.

Pendant cette longue période, les premiers soulèvements durent se produire, de manière à créer des terres émergées, dont une partie devait échapper à tous les dépôts sédimentaires des périodes suivantes et rester, comme les témoins de la première action des eaux, sur l'écorce à peine refroidie du globe terrestre.

Gneiss. — Les gneiss recouvrent généralement les grandes masses granitiques et peuvent, par conséquent, être considérés comme servant de base aux terrains schisteux stratifiés.

Les principes constituants du gneiss sont les mêmes que ceux du granite, et la différence des deux roches repose uniquement sur leur mode d'association. Le gneiss est moins cristallin et présente une structure schisteuse, souvent très-contournée, qui résulte surtout de l'abondance du mica et de sa disposition suivant des plans continus : c'est la roche désignée longtemps par Saussure sous le nom de *granite veiné;* celle que Werner définit une roche composée de feldspath, quartz et mica, immédiatement accolés les uns aux autres, et dont la texture est à la fois cristalline et schisteuse. Cette définition de Werner est exacte ; mais, en prenant l'ensemble des gneiss, on voit aussi que leur texture n'est réellement plus granitoïde, et qu'elle est beaucoup moins cristalline que celle des granites ; leur caractère essentiel est la structure schistoïde, déterminée non-seulement par l'abondance et la disposition du mica, mais encore par celle des autres principes constituants, disposés

Digitized by Google

en plaques superposées (fig. 19). Enfin, la structure en grand

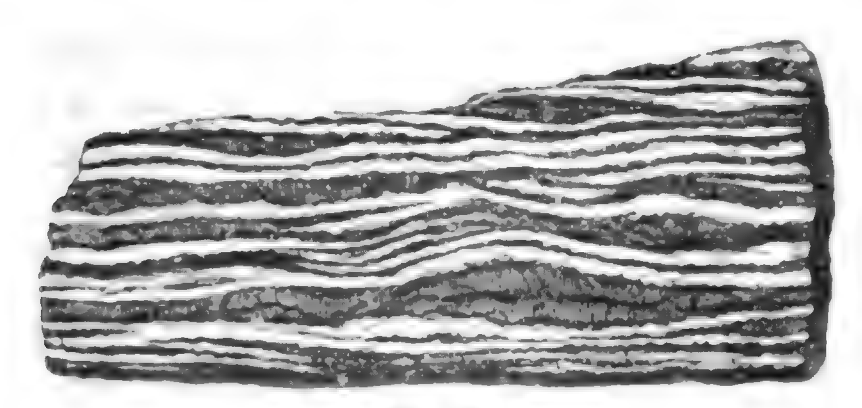


Fig. 19.

est aussi plus stratifiée; de sorte que le gneiss constitue le passage des granites aux véritables schistes.

Les substances accidentelles qui se trouvent dans les gneiss sont toujours à l'état cristallin. Ce sont d'abord les principes constituants eux-mêmes, le feldspath qui s'isole en gros cristaux, le mica en nodules pelotonnés et veines cristallines, l'amphibole, la tourmaline, les grenats, l'épidote, le talc, la chlorite. Le gneiss est en outre traversé dans certaines contrées de l'Europe par une multitude de veines et de filons qui l'ont fait autrefois considérer comme la roche métallifère par excellence

Le gneiss est d'ailleurs une roche subordonnée aux granites plutôt qu'une roche très-puissante, et constituant des étendues considérables. La contrée comprise entre Freiberg et l'Erzgebirge, et beaucoup de parties du massif scandinave, présentent les plus grandes étendues de gneiss que l'on puisse citer dans les terrains anciens de l'Europe, où il est en général effacé par le développement des schistes micacés, talqueux et argileux.

L'origine du gneiss a souvent été discutée. On se demandait si ces roches cristallines et si voisines des granites ne devaient pas leur être assimilées. Aujourd'hui que l'on a pu observer sur beaucoup de points, et notamment dans les terrains schisteux de la Scandinavie et des Alpes, des alternances de gneiss avec des roches arénacées évidemment stratifiées et même avec des calcaires, on n'hésite plus à considérer ces roches comme

Digitized by Google

d'origine sédimentaire. Ainsi M. de Buch a reconnu en Norvége des micaschistes et des gneiss charbonneux, stratifiés au-dessus de grauwackes et de roches d'agrégation du terrain de transition. La masse du Saint-Gothard est composée d'alternances de gneiss et de micaschistes en couches très-inclinées, et, vers le point culminant, ces couches alternent même avec des granites; or, dans cet ensemble cristallin, il existe (au Botzenberg) une assise calcaire, en partie anthraciteuse et fétide, qui contient des débris organiques. Cette assise plonge vers l'intérieur du Saint-Gothard et démontre l'origine sédimentaire de tout l'ensemble schisteux auquel elle appartient. D'autre part, la nature cristalline de toutes ces alternances prouve que les roches ont subi des transformations métamorphiques postérieures à leur dépôt.

Cette origine des gneiss est d'ailleurs en harmonie avec leur disposition relativement aux masses granitiques protubérantes, qu'ils enveloppent comme d'un manteau, en suivant par une stratification contournée toutes leurs ondulations et toutes leurs inégalités.

Micaschistes et stéaschistes. — Les micaschistes sont composés de quartz et de mica, tantôt mélangés intimement et formant un tout homogène, schisteux et feuilleté, à clivages miroitants dans le sens de la stratification; tantôt, au contraire, distincts et formant des plaques ondulées et superposées. Le quartz en s'isolant y forme souvent des veines ou des noyaux lenticulaires, autour desquels le micaschiste se contourne en déterminant une structure amygdaline.

Rien de plus variable que la proportion relative des deux éléments constituants, au point que toutes les variétés se succèdent progressivement depuis le micaschiste, composé exclusivement de mica pailleteux, dans lequel le quartz n'existe ni comme ciment ni sous forme de plaques ou veines interposées, jusqu'au quartz schisteux, dans lequel cette structure est seulement produite par l'interposition d'une faible proportion de mica dans les plans de stratification.

Digitized by Google

Le mica qui détermine la couleur des micaschistes est très-variable sous ce rapport. Les teintes jaunes ou brunes ocreuses dominent en général, puis les teintes violacées et rougeâtres, grises ou noirâtres.

La stratification des micaschistes n'est point douteuse, non plus que leur origine sédimentaire. Sans doute les réactions auxquelles nous avons attribué les caractères cristallins des gneiss ont également contribué à la nature minéralogique des micaschistes; mais la stratification des couches, quoiqu'elle ne soit encore ni très-distincte ni très-continue, prouve que ces roches schisteuses si développées ont été bien réellement déposées par les premières actions sédimentaires. On peut appliquer aux micaschistes ce que nous avons précédemment dit du gneiss. Cette grande abondance du mica cristallin ne peut résulter des actions sédimentaires sur les roches granitiques préexistantes, le résultat de ces actions ayant toujours été l'amoindrissement et la suppression du mica. On doit donc admettre que ce sont des influences métamorphiques qui ont imprimé à ces roches leurs caractères semi-cristallins.

Un assez grand nombre de minéraux accidentels se rencontrent dans les micaschistes et tous à l'état cristallin. Ce sont principalement des grenats autour desquels se contournent les feuillets micacés de manière à déterminer une structure entrelacée et glanduleuse. C'est ainsi que Saussure, descendant du Simplon à Domo d'Ossola, signalait sur le chemin les grenats formant des saillies glanduleuses. Le disthène et la staurotide abondent dans certains micaschistes, notamment au Saint-Gothard, enfin on y trouve sur beaucoup de points des tourmalines et des macles.

Le terrain de micaschiste contient souvent des couches de quartz; assez rarement du quartz compacte, mais plus volontiers de celui que l'on désigne sous le nom d'hyalomicte, divisé par le mica et plutôt granuleux que compacte. Ces quartz alternent en couches dont la puissance varie depuis les veines les plus déliées jusqu'à plusieurs centaines de mètres. Dans les

montagnes du Brésil et dans les Andes, il en existe des masses énormes, soit pur, soit mêlé de mica, de talc et de chlorite.

Les masses les plus continues et les plus puissantes de micaschistes que l'on ait citées dans le nouveau continent sont celles de la Cordillère du littoral de Venezuela ; surtout vers l'est, où les micaschistes grenatifères sont très-abondants. Dans la Nouvelle-Grenade ce terrain acquiert jusqu'à douze cents mètres de puissance. Mais il est aussi susceptible de manquer, et nulle part, dit M. de Humboldt, cette suppression n'est plus fréquente que dans les Cordilières du Mexique et de l'Amérique méridionale. Dans le sud des montagnes de Parime, au-dessus de l'Orénoque, le terrain n'est aussi composé que de granite et de gneiss passant au micaschiste : au lever et au coucher du soleil, plusieurs de ces montagnes micacées qui reflètent vivement ses rayons ont beaucoup contribué à répandre le mythe de l'Eldorado.

En Europe, le terrain de micaschiste est peut-être le plus répandu dans les terrains de transition inférieure.

Les stéaschistes ou schistes talqueux sont aux protogines ce que les gneiss et les micaschistes sont aux granites ordinaires.

Ce sont des roches composées d'un mélange intime ou distinct de quartz et de talc, ordinairement caractérisées par des couleurs verdâtres; elles contiennent principalement comme substances accidentelles la stéatite, l'épidote et la chlorite.

Les stéaschistes sont quelquefois feldspathiques et constituent alors de véritables gneiss talqueux dont les roches qui entourent les protogines du mont Blanc fournissent des variétés nombreuses.

Ces roches ne forment pas d'ailleurs des développements toujours distincts, elles alternent le plus souvent avec des schistes micacés auxquels elles se lient par des passages minéraloqiques.

Schistes argileux. — Les schistes argileux sont des argiles impures, indélayables, schisteuses et feuilletées ; leur cassure

Digitized by Google

facile dans le sens de la stratification, est douce au toucher, unie et luisante; tandis que dans le sens perpendiculaire, elle est à la fois inégale et difficile. Leur couleur varie ordinairement du gris bleuâtre ou verdâtre au violacé; il existe également des variétés rougeâtres ferrugineuses ou colorées en noir par le carbone.

La nature indélayable des schistes argileux et leur clivage facile permettent de les débiter sous forme de feuilles, et les font quelquefois rechercher comme ardoises.

Les schistes argileux sont plus nettement stratifiés que toutes les autres roches schisteuses; on peut les considérer comme formés des substances les plus susceptibles d'être tenues en suspension dans les eaux qui ont exercé leurs actions érosives sur des roches granitiques, c'est-à-dire d'argile provenant de la décomposition des feldspaths, de mica que l'on peut souvent y distinguer en paillettes luisantes, et de quartz en particules impalpables.

Le quartz, qui se présente quelquefois en excès dans les schistes argileux, leur donne une structure grenue, mais il en existe des variétés qui sont intimement pénétrées par la silice, et qui en ont dès lors la cassure lisse et conchoïde. Ces variétés, que l'on appelle schistes siliceux ou *lydiennes*, sont de véritables jaspes qui conservent la structure feuilletée des schistes purement argileux. On choisit souvent les lydiennes les plus noires pour servir de pierres de touche.

Les diverses variétés de schistes argileux en assises plus ou moins épaisses forment des alternances, dont la stratification peut être souvent déterminée par la mesure des directions.

Les schistes argileux alternent avec des schistes micacés ou talqueux. On y rencontre quelquefois des schistes noirs, graphiteux ou anthraciteux et des couches de calcaires cristallins, souvent impurs et schisteux eux-mêmes, avec des indications de débris de mollusques et de polypiers, qui attestent à la fois l'origine neptunienne de tout l'ensemble et l'existence des premières organisations animales et végétales dans les eaux sédi-

Digitized by Google

mentaires. Dans cette série de roches schisteuses qui peuvent d'ailleurs alterner ensemble, les gneiss et les micaschistes forment généralement la base, les schistes argileux la partie supérieure; les bancs subordonnés et accidentels de calcaires indiquent presque toujours le passage de la formation de transition inférieure à la formation moyenne qui lui est superposée.

Dans les massifs montagneux des Vosges, des Alpes, des Pyrénées, de la Lozère, etc., les roches granitiques des axes culminants sont entourées de gneiss, de schistes micacés ou talqueux, auxquels succèdent les schistes argileux, dont les caractères sont d'autant plus cristallins qu'ils sont plus rapprochés des roches éruptives. Des roches porphyriques, serpentineuses ou trappéennes, sorties postérieurement, ont encore ajouté de nouvelles transformations métamorphiques aux caractères cristallins que les roches de transition ont déjà par elles-mêmes. Il est donc devenu presque impossible de fixer le véritable âge géologique de ces premiers dépôts, et d'y distinguer ceux qui pourraient appartenir aux périodes de transition moyenne ou supérieure.

Cet ensemble de roches schisteuses et semi-cristallines, presque entièrement dépourvu de débris organiques, a été longtemps désigné sous la dénomination de *terrain primitif*. On réunissait sous cette dénomination tous les premiers dépôts sédimentaires dont l'origine présente des incertitudes. On a ensuite successivement séparé de cette première période les dépôts dans lesquels on a pu reconnaître des débris organiques et une stratification bien caractérisée et qui recouvrent généralement en stratification discordante ceux de cette première période. Ces dépôts constituent la formation moyenne.

FORMATION DE TRANSITION MOYENNE.

Cette formation, quelquefois désignée sous la dénomination de *silurienne*, se distingue de la précédente, d'abord par sa

Digitized by

composition moins cristalline, qui consiste principalement en quartzites, schistes argileux et grauwackes; en second lieu, parce qu'elle contient d'assez nombreux débris organiques, encrines, trilobites, spirifères, etc.; enfin, parce que sa stratification, beaucoup plus distincte, permet de reconnaître qu'elle a formé, sur les surfaces de transition inférieures, des dépôts plus circonscrits, dont les couches affectent des directions qui leur sont propres.

Lorsque l'on étudie un terrain de transition qui présente les éléments des formations inférieures et moyennes, on cherche d'abord à préciser la position des couches les mieux caractérisées: ces couches servent ensuite d'horizons géologiques pour distinguer tous les dépôts qui se trouvent en dessous de ceux qui se trouvent au-dessus.

Ces horizons géologiques sont souvent fournis par des roches d'agrégation qui se rencontrent surtout à la base des formations, et qui marquent les époques des grands mouvements des eaux sédimentaires.

Lorsqu'on parcourt le massif de l'ouest, de Cherbourg à Rennes, Angers et Nantes, on marche continuellement sur le sol mouvementé des dépôts de transition, et l'on remarque surtout des quartzites ou grès métamorphiques avec débris d'entroques qui constituent les sommités principales, et fournissent un horizon géologique qui se retrouve partout.

Ces quartzites forment la base des dépôts qui appartiennent à la formation moyenne; ils reposent en stratification généralement discordante sur les schistes cristallins de la formation inférieure, et sont recouverts en stratification concordante par les schistes argileux qui contiennent des débris organiques, et dont font partie les schistes ardoisiers d'Angers.

Le Hartz présente également un type remarquable de la formation moyenne des terrains de transition.

Le point culminant de cette contrée est formé par les montagnes granitiques du Brocken, enveloppées d'une petite épaisseur de schistes cristallins. A ces roches centrales et culminantes

Digitized by Google

succèdent des schistes argileux alternant avec des couches puissantes de quartzites qui forment les montagnes de second ordre. Puis on rencontre des alternances de schistes argileux avec des schistes lydiens et des grauwackes, dont les parties tout à fait supérieures contiennent des couches de grès et de calcaires fossilifères.

Il est possible que cette succession variée de roches schisteuses, dont les alternances s'étendent sur plus de trente kilomètres, comprenne des roches appartenant à la formation inférieure aussi bien qu'à la formation moyenne; mais, comme on n'a pu constater aucune discordance dans l'allure générale de la stratification, il serait difficile d'y placer une ligne de division.

Il en est de même de la vaste étendue de terrains de transition qui constitue le massif rhénan du Taunus, du Hundsruck, de l'Eiffel et du Westerwald. L'abondance des schistes et des grauwackes fossilifères, et leur passage ménagé aux roches de la formation supérieure, démontrent que la majeure partie du terrain appartient à la formation de transition moyenne.

Les grauwackes très-développées du massif rhénan et du Hartz donnent à l'ensemble de cette formation une apparence plus moderne que celle des terrains dans lesquels les schistes argileux et les quartzites dominent presque exclusivement. Ce sont, en effet, de véritables roches d'agrégation, tantôt à grains grossiers et parmi lesquels on distingue les éléments roulés et altérés des roches granitiques ou schisteuses aux dépens desquelles elles ont été formées; tantôt à grains fins, à ciment argileux, micacées et passant progressivement aux schistes argileux.

Les grauwackes marquent, dans le massif de transition de la Bretagne et de la Normandie, la séparation des terrains de transition moyens et inférieurs. Ainsi, disent MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont dans leur description géologique de la France : on rencontre sur beaucoup de points des départements de la Manche et de l'Orne, et notamment dans la petite chaîne dite des

Digitized by Google

buttes de Clecy, qui traverse le département de la Manche dans sa plus grande largeur, des poudingues et des grès quartzeux inclinés à vingt-cinq degrés, recouvrant les couches presque verticales des schistes luisants et satinés de la formation inférieure. Les mêmes poudingues, à cailloux quartzeux avec quelques fragments de feldspath et de schistes argileux, existent aux environs de Saint-Brieuc et sur tout le littoral silurien indiqué par la carte géologique de France.

C'est dans la partie supérieure des terrains de transition moyens que l'on rencontre les premiers dépôts calcaires de quelque importance. Ces dépôts ne sont que locaux, mais ils impriment à ces parties du sol un caractère particulier d'autant plus saillant, que d'immenses étendues de terrains de transition plus anciens se trouvent dépourvus des roches chaux. calcaires nécessaires aux constructions et à la fabrication de la

Ainsi les schistes ardoisiers à trilobites des environs d'Angers contiennent, sur plusieurs points, des calcaires noirs, compactes et esquilleux, avec trilobites et entroques. Le calcaire des environs de Brest et ceux des environs de Dudley, caractérisés par les mêmes fossiles auxquels s'adjoignent les spirifères, les productus et de nombreux polypiers, sont des types de ces formations locales auxquelles on peut assimiler les calcaires beaucoup plus étendus de la Suède, qui contiennent les mêmes débris organiques.

FORMATION DE TRANSITION SUPÉRIEURE.

Cette formation, que l'on appelle souvent *devonienne* ou *anthraxifère*, présente des types minéralogiques très-distincts.

En Angleterre, elle comprend un étage arénacé très-puissant, appellé le *vieux grès rouge*, parce que les roches sont fortement colorées par du fer à l'état de peroxyde ; cet étage arénacé est surmonté par les roches calcaires, dites *calcaires carbonifères*.

En Belgique et dans le nord de la France, ainsi que dans la Prusse rhénane, la formation de transition supérieure est re-

Digitized by Google

présentée par des alternances de roches arénacées, ***brèches***, ***poudingues*** et ***psammites***, avec plusieurs étages de ***calcaires carbonifères***.

Enfin, sur d'autres points et notamment dans l'ouest de la France, de Doué à Nort, cette formation est représentée par des dépôts de grès, de ***schistes et de calcaires souvent charbonneux***, et renfermant de petites couches d'anthracite ou de houille.

Vieux grès rouge. — Le vieux grès rouge est un étage entièrement arénacé qui, dans plusieurs contrées, et notamment dans les districts de l'ouest en Angleterre, constitue la base de la formation devonienne.

Cet étage est composé d'assises alternantes de grès, de poudingues et de conglomérats, dans lesquelles le principe dominant est le quartz, et, bien que ces roches se rapprochent quelquefois de la grauwacke par la présence de fragments granitiques ou schisteux, la prédominance constante du quartz et la nature ferrugineuse du ciment, qui donne un aspect rouge sombre à l'ensemble du dépôt, sont des caractères suffisants pour les distinguer. Les grès ou psammites sont ordinairement plus répandus que les conglomérats, surtout lorsque la formation est très-développée ; ils sont quelquefois veinés de bleuâtre, de jaunâtre et de rouge plus ou moins sombre. Ces variations de nuances ne suivent pas toujours les lignes de stratification ; celles-ci sont plus généralement déterminées par des différences dans la grosseur du grain, la solidité, la texture, et par des bancs intercalés de schistes et d'ampélites. Quelquefois l'agglutination est presque nulle, et la roche est friable, sablonneuse ou à l'état de cailloux roulés ; mais ce cas est le plus rare, et son agglutination est le plus souvent assez grande pour qu'elle puisse être exploitée.

Le vieux grès rouge n'est réellement développé avec le caractère de formation distincte que dans l'ouest de l'Angleterre. Cependant on en retrouve quelques indications en Belgique, où les conglomérats inférieurs qui alternent avec les calcaires carbonifères contiennent des assises de grès et schistes rouges, et

Digitized by Google

même des bancs de minerais de fer qui rappellent bien le caractère ferrugineux de la formation.

L'étage du vieux grès rouge est d'ailleurs surmonté en Angleterre par celui des calcaires carbonifères, et, si l'on compare les caractères de l'ensemble du terrain avec ceux qu'il présente en Belgique, on y trouve cette seule différence, qu'en Angleterre l'étage arénacé et l'étage calcaire se sont développés successivement et sans mélanger leurs produits, tandis qu'en Belgique et en Prusse rhénane les deux étages sont mélangés de telle sorte, que l'ensemble est représenté par des alternances répétées de plusieurs étages arénacés et calcaires.

Calcaire carbonifère. — L'étage du calcaire carbonifère est le premier qui présente les roches calcaires en assises puissantes et développées, caractère spécial d'autant plus précieux, que ces roches sont très-recherchées pour la fabrication de la chaux et les constructions. De vastes contrées de transition sont en effet complétement dépourvues de calcaires, tandis que les points où la formation du calcaire carbonifère est développée fournissent en abondance à l'agriculture et aux constructions les pierres à chaux dont elles ne peuvent guère se passer.

Le calcaire carbonifère paraît s'être principalement déposé à la base des grands bassins houillers de la Belgique, du nord de la France et de l'Angleterre. Dans ces contrées, il est le support naturel et concordant de la formation houillère, laquelle, dans le centre et le midi de la France, s'est déposée immédiatement sur les terrains schisteux ou granitiques.

Cependant il ne faut pas trop généraliser cette condition de gisement; certains petits bassins houillers du midi de l'Europe, de ceux que l'on est disposé à considérer comme formés dans des lacs d'eau douce, reposent en réalité sur le calcaire carbonifère : tels sont le bassin de Roujan et Neffiès dans le département de l'Hérault, le bassin d'Espiel et Villa-Harta dans l'Andalousie.

Le calcaire carbonifère est souvent coloré en grisâtre ou en noir par le carbone, et contient accidentellement de petites

Digitized by Google

couches anthraciteuses qui lui ont fait donner son nom. Lorsqu'il n'est pas coloré par le carbone, il est ordinairement d'un gris bleuâtre bien connu de tous ceux qui ont examiné les monuments des provinces houillères de la Belgique et de la Prusse rhénane. Beaucoup de variétés sont colorées en jaunâtre par l'hydroxyde de fer, qui pénètre principalement les affleurements et les surfaces des nombreuses fissures qui le parcourent. Ces calcaires sont généralement compactes, à cassure esquilleuse ou finement saccharoïde ; ils sont susceptibles d'un assez beau poli et fournissent cette immense quantité de marbres noirs, noirs veinés de blanc et gris, ou jaunâtres, qui sont employés sous les dénominations de marbres de Namur, marbres petits-granites, et stinkal.

Les fossiles sont assez fréquents dans le calcaire carbonifère ; certains bancs en sont pétris. Ce sont des polypiers, des bellérophons, des évomphales, des productus, etc., qui se détachent généralement en couleur claire sur le fond plus coloré de la roche.

Dans toutes ses positions, le calcaire carbonifère alterne avec des roches arénacées, schistes, grès ou poudingues.

Les caractères de ces roches arénacées varient avec chaque localité. Dans la Belgique, ce sont des poudingues à cailloux de quartz blanc laiteux, dont la grosseur est très-variable, depuis les grains sablonneux jusqu'aux galets ovoïdes analogues à ceux des rivages actuels. Les schistes qui alternent avec ces poudingues sont des schistes argileux et des argiles schisteuses, délitables par une exposition plus ou moins longue aux agents atmosphériques. Parmi ces schistes, il en est de rouges, qui contiennent des bancs de peroxyde rouge de fer, à structure oolitique ; ils alimentent aujourd'hui une partie des hauts fourneaux de Liége et de Charleroi.

Les alternances des calcaires carbonifères et des couches quartzo-schisteuses passent au terrain houiller par un banc puissant de schiste noir, connu sous la dénomination de *schiste alumineux*. Ce schiste, pénétré de pyrite de fer, se décompose

à l'air ; lorsqu'on le soumet à la calcination, il devient d'un rouge intense, et fournit par le lessivage une quantité plus ou moins grande d'alun ; il a été l'objet d'exploitations très-actives dans la vallée de la Meuse.

En vertu de leur ancienneté, comparativement aux calcaires secondaires et tertiaires, les calcaires carbonifères sont généralement les plus accidentés. Leur dureté leur donne même, en général, un relief plus apparent, et de là est venue la dénomination de *calcaires de montagne* qui leur est souvent appliquée.

Un trait particulier de ces accidents mérite d'être cité. La vallée de la Meuse, de Namur jusqu'à Chockier, au-dessus de Liége, est creusée dans la formation du calcaire carbonifère, dont les relèvements lui donnent, surtout sur la rive gauche, un caractère éminemment pittoresque ; les calcaires, fortement relevés, sont le plus souvent renversés sur les couches de la formation houillère, auxquelles ils semblent superposés sur beaucoup de points.

Dépôts anthraxifères. — Dans les départements de la Sarthe et de la Mayenne, et notamment aux environs de Sablé, les calcaires carbonifères, caractérisés par leurs fossiles habituels, alternent avec des couches de grès et de schistes, parmi lesquelles se trouvent plusieurs couches d'anthracite de $0^{m},30$ à $0^{m},70$ d'épaisseur.

Aux environs de Roanne, et notamment à Bully et Fragny, des couches de schistes alternent avec des calcaires noirs et contiennent des couches d'anthracite.

Ces terrains sont liés, sous le double rapport de la nature des roches constituantes et du gisement, avec le terrain de transition dont ils forment en quelque sorte le dernier étage.

Le terrain anthraxifère de l'ouest de la France, qui occupe une position géologique à peu près correspondante à celle du calcaire carbonifère, est principalement composé de grès micacés alternant avec des couches de schistes noirs qui contiennent des couches de houille maigre. Quelques bancs calcaires intercalés contiennent des orthocères, des bellérophons et des térébratules.

Digitized by Google

Ce terrain forme une bande longue et étroite, de plus de soixante kilomètres de longueur, qui croise la Loire à la hauteur de Chalonnes, et qui semble marquer l'emplacement d'une vallée creusée dans les schistes siluriens, dans laquelle se sont déposées les alternances de grès, calcaires, schistes et houilles anthraciteuses. Ces couches ont été ensuite violemment relevées et comprimées de manière à présenter, dans toute leur étendue, la section d'un fond de bateau en forme de V. Les exploitations ouvertes aux environs de Chalonnes, Mouzeil, Saint-Georges-Chatelaison et Nort, y ont reconnu sept couches de houille.

Ainsi la liaison de la formation devonienne avec la formation houillère, qui se fait en Belgique par le calcaire carbonifère alternant en couches minces avec des schistes noirs et de petites couches d'anthracite, peut présenter des caractères encore plus houillers et se produire par des alternances de poudingues, grès et schistes charbonneux, comprenant des couches de houille anthraciteuse et quelquefois même des couches de houille grasse. Ces alternances renferment d'ailleurs des impressions végétales identiques à celles de la véritable formation houillère, de telle sorte que l'assimilation est presque complète.

FORMATION HOUILLÈRE.

La formation houillère termine la période de transition. Elle est représentée par les dépôts les plus disséminés et les plus circonscrits de toute la série.

Cette formation présente deux conditions de gisement très-différentes.

En Angleterre, dans le nord de la France, en Belgique, en Westphalie, dans l'Amérique du Nord, elle succède au calcaire carbonifère, sur lequel elle repose en stratification concordante et sans qu'il y ait eu en quelque sorte aucune interruption de l'action sédimentaire, de telle sorte qu'il y a liaison géognostique complète entre les deux formations.

Digitized by

Dans le centre, le midi, l'est et l'ouest de la France, dans le duché de Deux-Ponts, en Saxe, en Bohême, etc., la formation houillère se présente sous forme de bassins clair-semés, immédiatement superposés aux terrains schisteux ou granitiques avec lesquels ses roches contrastent de la manière la plus tranchée.

Les premiers de ces bassins houillers ont été appelés *marins*, parce que la concordance et quelquefois même l'alternance de leurs premières couches avec des couches appartenant à la formation du calcaire carbonifère qui contiennent des coquilles marines et des débris de polypiers, ont fait supposer que ces dépôts avaient dû s'effectuer dans des eaux marines.

Les autres bassins houillers sont appelés *lacustres*, parce que leur position intérieure et isolée sur les terrains de transition alors émergés, leur dispersion et leurs dimensions circonscrites tendent à les faire considérer comme déposés dans des lacs d'eau douce, analogues à ceux qui existent sur les surfaces accidentées des continents.

La formation houillère peut être considérée comme uniquement composée de deux roches : le grès houiller et l'argile schisteuse, dont les caractères minéralogiques se modifient de manière à donner naissance à une assez grande série des variétés.

Le *grès houiller*, dont les alternances forment généralement la plus grande partie de l'épaisseur de la formation, est une roche d'agrégation composée de quartz, de feldspath et de mica en grains plus ou moins gros, agrégés par un ciment siliceux et quelquefois ferrugineux. Le quartz est l'élément dominant ; le feldspath et le mica, qui lui sont associés, donnent lieu à quelques variétés distinctes. Le feldspath est tantôt rosé et lamelleux, tantôt blanchâtre et kaolineux ; c'est-à-dire ayant subi un commencement de décomposition. Lorsqu'il est seul avec le quartz, il constitue de véritables *arkoses* recherchées comme pierres de construction. Le mica est en petites lamelles, grisâtre ou noirâtre; lorsqu'il est abondant, il est rassemblé suivant les plans de la stratification et donne à la roche une structure schisteuse.

Mais ce qui fait varier principalement le caractère du grès houiller, c'est la grosseur des grains constituants.

Dans les grands bassins marins de l'Angleterre, du nord de la France, de la Belgique, de la Ruhr et de l'Amérique du Nord, le grès dominant et normal est très-quartzeux, à grains fins et serrés, un peu micacé, souvent ferrugineux. Ce n'est que vers la base qu'on trouve des poudingues à cailloux ovoïdes de quartz, plus ou moins agrégés, et constituant ce que l'on appelle en Angleterre le *millstone grit* ou grès à meules. Les variétés à grains fins, dures, stratifiées en petits bancs, sont ce que les mineurs du Nord appellent les *querelles*.

Dans les bassins du centre et du midi de la France, de Sarrebruck, de la Silésie, etc., les grès houillers commencent par des *conglomérats* formés de gros blocs appartenant aux roches anciennes. Ces conglomérats sont surmontés de brèches et de poudingues à cailloux roulés, parmi lesquels on retrouve les granites, feldspaths, gneiss, micaschistes et quartz du terrain préexistant; puis enfin du grès normal, à grains plus ou moins grossiers, mais généralement plus feldspathique que ceux des bassins marins.

Dans le bassin de la Loire, les grès houillers comprennent 1° les brèches et conglomérats dans lesquels on reconnait les roches granitiques des environs ; 2° des poudingues à cailloux diversement colorés que l'on a appelés poudingues *mosaïques*, qui alternent avec des poudingues quartzeux ; 3° des grès grossiers dits *grattes* ; 4° enfin des grès fins dits *tailles*.

Les *argiles schisteuses* sont des argiles grises ou noirâtres, indélayables, souvent micacées, et assez résistantes lorsqu'on les met à découvert dans les travaux des mines, mais délitables par une exposition plus ou moins prolongée aux agents atmosphériques et surtout à l'humidité. Elles sont quelquefois surchargées de quartz disséminé en grains indiscernables et passent ainsi aux psammites; d'autres fois, elles sont à pâte très-fine, très-tendres, foliacées, et présentent des surfaces lisses et miroitantes, suivant lesquelles elles se divisent facilement, ce sont les va-

riétés qui accompagnent souvent les couches de houille ; les mineurs du Nord les appellent *escailles*, et ceux du Centre et du Midi *gore*.

Les argiles schisteuses sont plus généralement colorées en gris ou noir que les grès houillers. Elles accompagnent de plus près les couches de houille auxquelles elles servent de toit et de mur, et dans lesquelles elles forment souvent de petits lits ou bancs intercalés que l'on appelle *nerfs* ou *barres*.

Le *fer carbonaté lithoïde* se rencontre fréquemment dans les schistes houillers en rognons stratifiés et disséminés, soit même en couches distinctes. Ces minerais ont une grande importance, moins par leur richesse que par leur position rapprochée de la houille.

La forme habituelle du fer carbonaté des houillères est celle de rognons ellipsoïdes, à cassure lithoïde, bruns ou grisâtres ; c'est un mélange plus ou moins riche d'argile et de carbonate de fer, qui se distingue des schistes par sa plus grande pesanteur spécifique. Ces rognons sont stratifiés dans les couches d'argile; ils se délitent souvent en couches concentriques, et, souvent aussi, ils présentent, à leur centre, un nodule d'argile ou de pyrite, quelquefois même un débris fossile, noyaux qui paraissent avoir provoqué autour d'eux la précipitation chimique du fer dissous dans les eaux sédimentaires.

Le fer carbonaté des houillères est le minerai le plus répandu en Angleterre. Dans le pays de Galles on connaît et l'on exploite seize couches de schistes, dans lesquelles il se trouve en rognons ou en lits stratifiés. Les bassins de Dudley et de l'Écosse contiennent aussi des ressources considérables en minerais de cette nature.

Les couches de schistes avec rognons stratifiés de fer carbonaté sont souvent très-rapprochées de la houille, et l'on peut ainsi exploiter par les mêmes travaux la houille et le minerai de fer. La figure 20 présente un de ces cas où deux petites couches de houille, séparées par un banc de schiste avec fer carbonaté, ont pu être compris dans un même abatage.

Digitized by Google

Les nombreux bassins houillers de la France sont loin de présenter le fer carbonaté avec la même abondance que ceux de l'Angleterre. Peu de couches argileuses contiennent ces rognons, et encore n'en ont-elles que dans des rayons circonscrits. Dans le bassin de la Loire, il en existe, notamment dans les concessions du Treuil et de Saint-Chamond, qui fournissent des rognons aplatis d'assez bonne qualité et contribuent à alimenter les fourneaux des environs; mais, dans les autres concessions, les rognons ne se retrouvent que d'une manière tout à fait accidentelle.

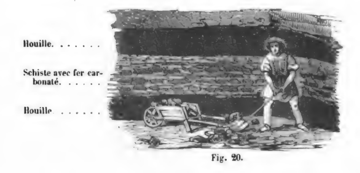
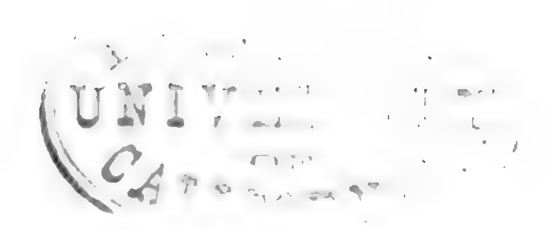


Fig. 20.

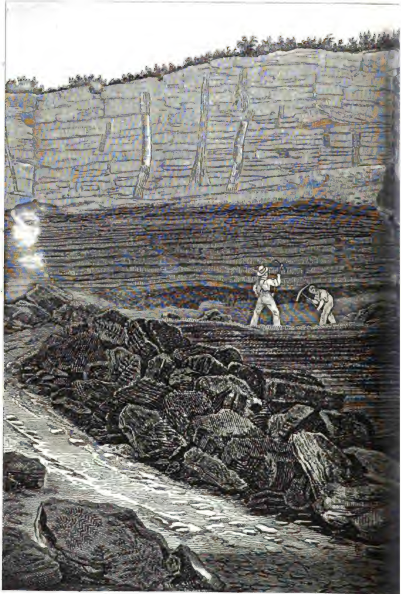
Le bassin houiller de l'Aveyron est, en France, celui qui présente le fer carbonaté en plus grande abondance : il y existe, d'abord en rognons disséminés dans les couches d'argile qui avoisinent la houille, et, comme à Saint-Étienne, c'est le minerai le plus pur. En outre, il constitue une couche un peu schisteuse, d'un à quatre mètres de puissance, qui paraît s'étendre sous la plus grande partie de la surface houillère. Cette couche est remarquable, en ce qu'elle subit en plusieurs points des séries de renflements et d'étranglements qui déterminent une allure dite en chapelet, allure très-fréquente dans toutes les substances qui résultent de précipitations chimiques ; elle partage, d'ailleurs, tous les accidents, plis ou failles, qui affectent l'ensemble du terrain houiller.

Le fer carbonaté lithoïde se trouve encore dans les bassins du

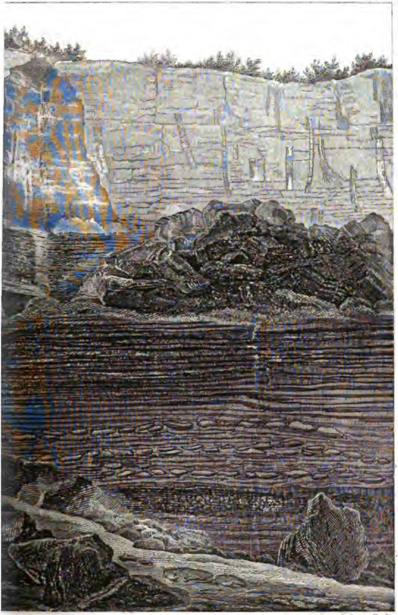
Digitized by Google



Digitize



Digitized by Google



Gravé par Ambroise Tardieu

... St. Étienne

... h h' ...

(A. Brongniart)

Digitized by Google

Gard, de l'Allier, etc. ; mais il n'y présente ni la régularité ni la pureté qui caractérisent ces minerais en Angleterre, et contient souvent des phosphates qui altèrent la qualité de la fonte et qui en restreignent l'emploi.

Caractères généraux des dépôts houillers. — Les grès et surtout les schistes houillers sont caractérisés par une très-grande quantité d'impressions végétales.

Ces fossiles végétaux, le plus souvent imprimés en noir et suivant les plans de stratification des couches, se rencontrent quelquefois dans une position rapprochée de la verticale ou plutôt de la perpendiculaire au plan des couches, comme s'ils eussent été enfouis et moulés sur place par les détritus arénacés.

La planche III, réduite d'après un dessin de M. Brongniart, indique la disposition des impressions verticales que la carrière du Treuil a présentée à une certaine époque. Ces impressions nombreuses semblent, disait-il, représenter une véritable forêt fossile: cette vue exprime d'ailleurs assez bien les caractères apparents de chacune des roches. Les grès fins et massifs qui forment la couche supérieure étaient exploités pour les constructions de Saint-Étienne; ils passent au schiste vers leur partie inférieure et recouvrent une première couche de houille d'un mètre et demi de puissance, séparée d'une seconde par un banc de schistes *s*, qui contient en *f* des nodules de fer carbonaté.

Les végétaux dont on retrouve les débris dans les grès et les schistes houillers appartiennent aux espèces les plus simples; ils paraissent analogues aux fougères, aux palmiers, aux calamites de l'époque actuelle, et démontrent évidemment que la houille est le résultat de la décomposition de végétaux analogues.

Dans les bassins lacustres, l'origine arénacée de l'ensemble des roches est tellement évidente, que l'on a souvent dit que ces dépôts houillers étaient formés des débris du vase de transition dans lequel ils sont contenus. Les brèches et les poudingues présentent en effet des blocs et des cailloux roulés, empruntés aux roches environnantes. Dans les bassins marins, l'origine des débris constituants n'est pas aussi facilement reconnaissable,

Digitized by Google

parce que, parmi ces débris charriés de provenances lointaines, le quartz seul a conservé ses caractères minéralogiques. Les éléments feldspathiques qui accompagnaient les quartz ont été probablement décomposés et sont passés à l'état d'argiles, et c'est tout au plus si l'on reconnaît la présence du mica dans la plupart des bancs de grès et d'argile. Mais, sauf cette plus grande ténuité et cette altération plus complète des éléments constituants, les dépôts de tous les bassins houillers sont d'une identité remarquable.

La présence fréquente du carbone disséminé qui colore les roches en gris ou en noirâtre, et l'abondance des débris végétaux, troncs, tiges, feuilles de plantes monocotylédones et acotylédones qui y constituent des fossiles caractéristiques, contribuent encore à compléter l'identité des roches houillères. Cette identité est telle, qu'il est difficile de reconnaître la provenance d'échantillons pris dans tel bassin de la France, de la Belgique, de l'Angleterre, de l'Allemagne, ou même de l'Amérique du Nord.

Un fait très-remarquable, et presque général dans les bassins houillers, est la décroissance de la grosseur des éléments arénacés, de la base à la partie supérieure des dépôts. Ainsi les conglomérats des bassins lacustres et le *millstone grit* des bassins marins sont invariablement à la base des dépôts; puis viennent les brèches et poudingues, puis les grès de diverses grosseurs, alternant avec les argiles qui dominent de plus en plus à mesure qu'on s'élève dans l'échelle géognostique des dépôts.

Cette succession dans la grosseur des éléments est quelquefois troublée, en ce sens que, tout à coup, au milieu des dépôts de grès fins et d'argiles, les conglomérats et les poudingues à gros éléments se représentent ; mais la loi de décroissance des éléments ne tarde pas à se rétablir.

Une formation houillère peut être considérée comme divisible en plusieurs étages ou sous-formations, successivement déposées et séparées les unes des autres par tous les caractères géognostiques qui séparent ordinairement les formations.

Digitized by

Ainsi, non-seulement on voit, à la base d'un étage, se reproduire, après des alternances de grès fins et d'argiles, des conglomérats ou poudingues à gros éléments ; mais la stratification du nouvel étage est souvent *transgressive*, c'est-à-dire que l'axe des dépôts est changé, et que l'on se trouve conduit à reconnaître que la configuration géographique du lac dans lequel s'effectuaient les dépôts a subi des modifications plus ou moins considérables.

Les alternances arénacées de la formation houillère renferment ordinairement des couches de houille qui donnent à ce terrain un caractère d'importance tout particulier. Ces couches de houille peuvent être examinées sous le point de vue de leur caractère minéralogique, de leur puissance, de l'allure plus ou moins étendue et plus ou moins accidentée de leur plan [1].

Diverses variétés de la houille. — Sous le rapport de leur nature minéralogique, les divers combustibles minéraux que l'on rencontre dans les terrains houillers ne présentent que de faibles différences ; mais, sous le rapport de leurs propriétés au feu, on les divise en trois types très-distincts : 1° les anthracites et les houilles maigres anthraciteuses, les plus riches en carbone, brûlant lentement avec une flamme courte, sans que les morceaux se collent les uns aux autres ; 2° les houilles grasses, maréchales ou à gaz, brûlant avec une longue flamme, fusibles et se tranformant en coke ; 3° les houilles maigres flambantes, qui brûlent avec une flamme longue et claire, mais sans fondre et sans fournir de coke. Ces variétés ont encore été subdivisées d'après les types suivants :

1° *Anthracite.* On peut prendre les types des variétés les plus anciennes et les plus sèches dans les terrains anthraxifères du Forez, à Fragny et Bully ; dans les terrains devoniens de la Sarthe et de la Mayenne ; dans le calcaire carbonifère du dépar-

[1] L'étude des diverses formations houillères ne peut être exposée ici que d'une manière générale et succincte : nous avons développé cette étude dans un ouvrage spécial (*De la Houille, traité des Combustibles minéraux*), où l'on trouvera au besoin toutes les explications et tous les documents qui ne peuvent trouver place dans ce traité.

Digitized by Google

tement du Nord, à Château-l'Abbaye; enfin, dans les bassins houillers de la Pensylvanie.

2° *Houille anthraciteuse.* C'est la houille maigre exploitée dans le département du Nord, à Fresne, Vieux-Condé, Vicoigne, etc., où elle forme les couches inférieures du bassin, de même qu'à Charleroi et Namur; c'est la houille maigre du bassin de la Rhur, où elle se trouve également dans la partie inférieure du terrain; c'est encore la houille sèche des couches inférieures des bassins de Galles et du Staffordshire, qui est directement employée dans les hauts fourneaux.

3° *Houille demi-grasse anthraciteuse*, que l'on pourrait appeler *demi-maigre.* C'est la houille flambante, riche en carbone de Charleroy; qualité remarquable par sa tenue au feu. Les qualités supérieures arrivent à faire du coke dans les fours surchauffés, et le rendement s'élève à 70 pour 100 et au delà.

4° *Houille maréchale.* On en trouve les types à Saint-Étienne. La couche Sagnat de Roche-la-Molière, la cinquième couche du Treuil, sont les houilles de forge les mieux caractérisées de ce bassin. Il faut encore y rapporter les houilles grasses ou houilles à coke, dont le type peut être pris, soit dans la couche de Meons, près Saint-Étienne, soit à la Péronnière ou à la Grand'-Croix, près Rive-de-Gier. On y comprend également les couches de Mons, dites *fines forges*, dont le système est immédiatement superposé à celui des houilles maigres anthraciteuses.

5° *Houille demi-grasse.* Cette variété comprend une partie des houilles à coke dont le rendement ne dépasse pas $0^{m},60$. La houille du Creuzot, dans le bassin de Saône-et-Loire, les bonnes houilles de Sarrebruck, sont dans ce cas. Les charbons de grille dits *rafforts*, à Saint-Étienne et Rive-de-Gier, appartiennent encore à cette variété; enfin, les *flénus* de Mons, les houilles employées pour la fabrication du coke à Blanzy, à Commentry et à Bezenet, se confondent, à la fois, avec cette variété et celle qui suit.

6° *La houille à gaz* forme une variété spéciale dans la plupart des bassins riches en combustibles, et, quoique cette variété ne

se distingue nullement de la précédente par ses caractères minéralogiques, les industriels ont su l'isoler. La houille des Littes, près Saint-Étienne, est le type de ces charbons à gaz, qui prennent accidentellement la texture compacte, et constituent alors le *cannel-coal*.

7° *Houille maigre flambante*. C'est la houille de la couche supérieure du Monceau, près Blanzy ; elle est très-flambante et produit un gaz abondant, mais le coke est fragile et peu abondant. Commentry, Épinac et Brassac fournissent aussi des charbons qui se rapportent à cette variété.

Étendue et richesse des bassins houillers. — La formation houillère paraît être principalement accumulée dans les contrées de l'hémisphère boréal. Cependant on a reconnu son existence sur plusieurs points de l'hémisphère austral, et notamment en Australie. Partout où elle existe, elle est l'objet de travaux de recherche et d'exploitation, et le tableau suivant indique à la fois son étendue approximative dans les diverses contrées du globe, et l'évaluation en nombres ronds des quantités de houille qui y sont produites annuellement :

	BASSINS HOUILLERS PRINCIPAUX	SURFACE APPROXIMATIVE.	PRODUCTION.
		Hectares.	Tonnes.
Iles Britanniques.	du pays de Galles du Derbyshire et du Staffordshire de Newcasle de l'Écosse	1,600,000	65,000,000
France.	du Nord et du Pas-de-Calais de la Loire de Saône-et-Loire de l'Allier du Gard	300,000	6,000,000
Belgique.	du couchant de Mons du Centre de Charleroi de Liége	150,000	8,000,000
Prusse et Allemagne.	de Sarrebruck de la Rhur de la Silésie de Tharand en Saxe	180,000	6,000,000

	BASSINS HOUILLERS PRINCIPAUX	SURFACE APPROXIMATIVE.	PRODUCTION.
		Hectares.	Tonnes.
Autriche.	de la Bohême	80,000?	900,000?
Espagne.	des Asturies de l'Andalousie	140,000?	500,000?
États-Unis de l'Amérique. . . .	des Alleghanis, du Tennessée et de la Pensylvanie de l'Illinois	3,000,000?	10,000,000?

Le bassin houiller de la Belgique et du nord de la France forme une zone presque continue depuis Liége, Namur, Charleroi et Mons, jusqu'à Valenciennes, Douai et Béthune.

Cette zone, de 10 à 15 kilomètres de largeur, est à découvert dans toute la partie orientale de la Belgique ; mais elle est recouverte, de Mons à Béthune, par des morts-terrains au-dessous desquels on la poursuit par des recherches incessantes. Elle paraît devoir se continuer encore au delà de Béthune et se relier par des lambeaux intermittents au terrain houiller d'Hardinghen, près Boulogne ; à l'est, elle constitue les petits bassins de Stolberg, d'Eschweiler et de Rolduc aux environs d'Aix-la-Chapelle, et se relie au vaste bassin de la Ruhr, en Westphalie, qui s'étend de Ruhrort à Essen, Dortmund et Unna.

Dans cet immense développement, d'une longueur de plus de 300 kilomètres, les couches de houille présentent des caractères analogues. Elles sont au nombre de 50 à 110, d'une puissance comprise entre $0^{m},25$ et 2 mètres, les épaisseurs dominantes étant de $0^{m},50$ à $0^{m},70$. Elles sont régulièrement stratifiées dans une épaisseur totale d'alternances de grès et de schistes, évaluée de 500 à 1,500 mètres, et dans laquelle elles forment ordinairement trois séries bien distinctes.

Les houilles maigres (depuis les variétés anthraciteuses exploitées à Vicoigne et Fresne dans le nord de la France, aux environs de Namur en Belgique, à Rolduc près Aix-la-Chapelle,

Digitized by Google

et dans la partie méridionale de la Ruhr jusqu'aux houilles demi-maigres à courte flamme qui dominent dans le bassin de Charleroy) forment une série de couches qui commencent dans les alternances mêmes du calcaire carbonifère, et caractérisent les dépôts houillers inférieurs. Les houilles de forges, employées surtout à la fabrication du coke, sont au-dessus et forment la série moyenne des couches; les houilles flénues, qui ne donnent que des cokes légers et sont de véritables houilles à gaz, n'existent guère qu'aux environs de Mons et sont superposées aux deux séries précédentes.

Les bassins lacustres, dispersés autour des terrains de transition du centre et du midi de la France, présentent la houille dans des conditions différentes. Elle y est généralement en couches moins nombreuses, plus puissantes et moins régulièrement stratifiées.

Les deux bassins de Saône-et-Loire, dont les principaux centres d'exploitation sont le Creusot, Blanzy, Montchanin et Épinac, ne renferment pas plus de dix couches, du moins dans les parties qui sont reconnues par les travaux souterrains; mais, parmi ces couches, il en est deux, à Blanzy, qui ont une puissance de 10 à 16 mètres. La couche du Creusot, de même puissance, atteint dans ses renflements plus de 30 mètres, et cette épaisseur est même de 40 mètres à Montchanin.

Le bassin houiller de la Loire est celui qui contient la plus grande épaisseur de couches de houille. Ces couches, au nombre de vingt-cinq, sont réparties dans quatre étages distincts de dépôts arénacés.

L'étage inférieur ou de Rive-de-Gier est le seul qui couvre toute l'étendue du bassin, dont la superficie est de 24,000 hectares. Cet étage, formé des gros conglomérats de la base, surmontés d'alternances de grès plus ou moins grossiers, contient d'abord plusieurs couches de qualité généralement médiocre et de 1 à 3 mètres de puissance, que l'on appelle les bâtardes; puis une couche, dite la grande masse de Rive-de-Gier, de 10 mètres de puissance moyenne, et qui atteint jusqu'à 20 mètres dans les renflements. Ce premier développement houiller est surmonté

d'une épaisseur de plusieurs centaines de mètres de grès stériles, au-dessus desquels se trouvent les trois étages supérieurs couvrant des espaces de plus en plus restreints.

Ces trois étages, dans lesquels sont ouvertes les mines des environs de Saint-Étienne, contiennent environ vingt couches d'une épaisseur de 1 à 5 mètres. Les espaces qu'ils occupent semblent s'être rapidement rétrécis par l'effet du remplissage et de l'asséchement du bassin, à tel point que la formation supérieure ne couvre pas plus de 4,000 hectares. Le retrait progressif des eaux ainsi continué conduirait à l'indication d'un point qui est le centre du bassin, point auquel correspond l'épaisseur maximum des dépôts. Un puits, supposé foncé en ce point central, devrait probablement avoir 12 à 1,400 mètres de profondeur pour atteindre la limite inférieure, c'est-à-dire le sol granitique et schisteux dans lequel le bassin est contenu.

Les divers bassins houillers présentent des faits analogues, sinon sous le rapport de la richesse, du moins sous le rapport de la disposition et de la structure. Ils sont divisibles en une série d'étages, distincts par les caractères minéralogiques de leurs dépôts arénacés ou des couches de houille qui s'y trouvent. Généralement les houilles les plus maigres sont dans les étages inférieurs, les houilles grasses sont au-dessus, et les houilles maigres à longue flamme caractérisent les étages supérieurs où se trouvent également les schistes bitumineux.

Les principaux bassins de la France, après ceux du Nord, de Saône-et-Loire et de la Loire, sont les bassins de l'Allier, où se trouvent les couches puissantes exploitées à Commentry et Bezenet; le bassin de Brassac, qui commence au confluent de l'Allier et de l'Alagnon, et s'enfonce sous les terrains tertiaires jusque vers Brioude; le bassin de l'Aveyron, connu par les exploitations de Decazeville et d'Aubin; le bassin du Gard ou de la Grand'Combe.

Outre ces bassins principaux, il en est un grand nombre de petits, cinquante environ, dont l'étendue, la richesse et les pro-

Digitized by

duits sont moins importants. L'ensemble de tous ces bassins ne représente pas en France une superficie de plus de 400,000 hectares, dont l'exploitation fournit annuellement six à sept millions de tonnes de houille.

Gisement et allure des couches de houille. — La houille forme des *couches*, d'épaisseur et de continuité très-variables, mais dont le caractère constant est de se conformer à toutes les allures des couches de schistes et de grès houiller entre lesquelles elles sont comprises. Cette stratification est indiquée non-seulement par les limites du toit et du mur, mais encore par les variations de nature, de pureté, qui ont lieu généralement suivant des lignes parallèles à celles du toit et du mur, par des filets de schiste intercalés, et par des *barres* continues qui divisent les couches en plusieurs assises. Enfin, les houilles elles-mêmes présentent souvent un grand nombre de délits, qui rendent leur structure *rayée* et *plateuse*, suivant le sens de la stratification.

La stratification de la houille ne doit pourtant pas être considérée comme absolue, et être comparée à celle des couches calcaires ou argileuses des grandes formations sédimentaires, ni même à celle des grès et des schistes qui alternent avec elle. Certains gîtes présentent des formes massives, ondulées, sans que ces ondulations soient motivées par l'allure du terrain, et démontrent que l'origine de la houille comporte, tout à la fois, des couches minces, continues et de la plus grande régularité, et des couches puissantes, tellement limitées et irrégulières, qu'elles peuvent être assimilées à des amas.

Le nombre des couches de houille dans un même terrain paraît, ainsi que leur puissance et leur continuité, sujet à de très-grandes variations. Cependant il y a une certaine liaison entre ces diverses conditions : les couches minces et régulières sont assez ordinairement continues et multipliées ; les couches puissantes et inégales sont, au contraire, peu nombreuses et limitées dans leur étendue. Ainsi, dans le bassin de Mons, on compte plus de cent couches de houille distinc-

Digitized by Google

tes, dont la puissance ordinaire varie de $0^{m},20$ à $1^{m},50$. Dans nos houillères du Nord, il y a peu de centres d'exploitation qui ne comptent six, huit, douze couches de houille et au delà; mais la puissance de ces couches dépasse rarement 1 mètre, et la plupart de celles qui sont exploitées n'ont que $0^{m},60$. Ces couches minces se maintiennent d'une manière continue sur des longueurs de 3, de 6 kilomètres, et il est même probable qu'elles existent sur des étendues plus grandes encore.

Cependant on ne doit pas, même dans le cas d'une très-grande régularité, supposer aux couches de houille une continuité égale à celle du terrain houiller. Par exemple, il y a, comme nous l'avons dit plus haut, interruption entre Valenciennes et la frontière belge : de telle sorte que les couches d'Anzin ne sont pas celles de Mons, et que celles-ci n'ont probablement pas de continuité réelle avec les couches de Liége, ni même avec celles de Charleroy.

Les mêmes remarques peuvent s'appliquer à d'autres bassins houillers, et, dans un bassin d'une grande étendue, on peut considérer la houille comme formant, dans les couches de grès et de schistes, des bassins spéciaux et subordonnés, souvent isolés les uns des autres par des parties stériles, et dont les couches, différentes de nombre et de puissance, n'ont entre elles aucun rapport réel de continuité.

Lors donc que l'on aura trouvé les grès et les schistes houillers, on n'aura pas pour cela trouvé la houille, fût-on sur le prolongement en direction ou en inclinaison de couches connues. Pour former une hypothèse probable à ce sujet, il faudra d'abord étudier les conditions spéciales du terrain sur lequel on opère, et calculer, d'après les parties connues et d'après la proximité des couches exploitées, les chances que l'on peut avoir de trouver des couches de houille dans les parties que l'on ne connaît pas.

Il existe ainsi une différence très-prononcée entre les bassins du Nord et la plupart des bassins méridionaux, quant aux con-

Digitized by

ditions suivant lesquelles la houille s'y trouve distribuée. Dans le Nord, les couches sont minces et multipliées, et la continuité des couches en fait tout le prix. Dans les bassins méridionaux, au contraire, les couches, moins nombreuses, mais plus puissantes, semblent perdre dans le sens de continuité ce qu'elles gagnent en épaisseur. Ainsi les couches puissantes du bassin de Saône-et-Loire paraissent former des bassins subordonnés au bassin principal qui est rempli par les grès et les schistes. Ces bassins subordonnés sont orientés comme le bassin qui les contient; et la houille s'y présente d'autant moins continue qu'elle est plus puissante.

La puissance totale des couches de houille qui existent dans un bassin est sujette à de grandes variations.

Le bassin de la Loire ne contient, dans la partie de Rive-de-Gier, que trois couches, dont les épaisseurs moyennes réunies dépassent 15 mètres; mais, dans la partie de Saint-Étienne, la somme des couches reconnues s'élève jusqu'à 35 mètres en 18 couches. C'est une puissance totale de 50 mètres pour les couches réunies du bassin.

Le point le plus riche du bassin de la Grand'-Combe a une puissance totale de 20 mètres, pour les couches réunies. On trouve 9 à 12 mètres à Brassac; 15 mètres à Commentry et Doyet; 20 à 30 mètres dans le bassin d'Aubin. Ce qui est remarquable, dans tous ces bassins, c'est que la houille en couches de 5 à 10 mètres se réduisant, par des étranglements, à 2 ou 3, et d'autres fois se renflant à des épaisseurs de 20 à 30, est un fait ordinaire et normal.

Dans le Nord, au contraire, 10 mètres de puissance totale sont divisés en quatorze couches exploitées à Fresne et Vieux-Condé. Les douze couches d'Aniche ne forment que 7 mètres; quatre couches suivies à Douchy n'ont que $3^m,50$: quatre, à Denain, $2^m,80$ seulement; et 12 mètres ne forment pas moins de dix-huit couches à Anzin. Il s'en trouve en outre qui ne sont pas exploitées et dont l'épaisseur est au-dessous de $0^m,25$. Mais ces couches sont régulières, continues, et on n'y rencontre pas

Digitized by Google

les renflements et les étranglements si fréquents dans les couches des bassins méridionaux.

En résumé, on ne peut poser aucune règle absolue pour le nombre et la puissance des couches de houille, non plus que pour leur continuité. Les indices qui résultent de la direction de la stratification ont cependant une grande valeur, même dans les contrées où la continuité présente le plus d'exceptions, en ce qu'ils conduisent toujours à la possibilité de trouver, si ce n'est le prolongement des couches, du moins des gîtes analogues à ceux déjà découverts.

Accidents des couches de houille. — Les couches de houille sont rarement dans la position où elles ont été produites, car cette position devait se rapprocher sensiblement de l'horizontale ; condition nécessitée, sinon par le mode de génération de la houille elle-même, du moins par celui des couches de grès et schistes entre lesquelles elle est stratifiée. Le plus souvent, l'ensemble du terrain est accidenté, non-seulement par des inclinaisons plus ou moins fortes, mais encore par des *plis* qui changent ces inclinaisons et contournent les couches de telle sorte, qu'un puits vertical peut les couper plusieurs fois. Souvent même il existe un ou plusieurs systèmes de *failles* qui changent les niveaux et isolent les unes des autres les diverses parties fracturées d'une même couche.

Cette dislocation, postérieure à la production des couches, doit être distinguée des accidents contemporains inhérents à la production même de la houille, tels que les ondulations du toit ou du mur qui renflent ou rétrécissent la puissance, les intercalations de bancs ou d'amygdales rocheuses qui interrompent le régime régulier de la stratification. Néanmoins il y a une liaison évidente entre ces deux origines d'irrégularités, en ce que les perturbations dynamiques semblent avoir agi quelquefois sur des couches de houille non solidifiées, ou du moins, dans un état tel, qu'elles ont pu être comprimées, étranglées et même complétement supprimées par une compression entre

Digitized by Google

les roches du toit et du mur, et, par suite, renflées en d'autres points.

La structure contournée et les surfaces souvent lisses et polies des schistes qui accompagnent la houille ainsi accidentée; l'état de la houille elle-même, qui est non-seulement plus brisée que partout ailleurs, mais quelquefois contournée et pour ainsi dire pétrie et pulvérulente, semblent confirmer l'existence de ces perturbations presque contemporaines du dépôt des couches.

On peut d'ailleurs, par des observations attentives, distinguer assez ordinairement les perturbations dynamiques et violentes de celles qui résultent des circonstances mêmes du dépôt. Les *nerfs* réguliers de schistes et les couches ou *barres* d'argile, presque toujours interposées dans les couches de houille suivant le sens de la stratification, peuvent fournir des indications à cet égard. Ainsi, dans un renflement naturel, les nerfs et barres n'éprouvent pas de perturbations dans leur stratification, tandis que dans les accidents dynamiques ils sont brisés, et leurs fragments brouillés avec la houille annoncent d'avance au mineur l'accident qui va modifier l'allure de la couche.

L'*inclinaison*, les *plis*, les *crains*, les *brouillages* et les *failles* : tels sont les accidents auxquels sont sujettes les couches de houille.

L'*inclinaison* est l'accident le plus général; il est rare, en effet, que les couches se présentent dans une position horizontale; presque toujours elles ont des pendages déterminés et une direction fixe. Cette inclinaison n'est soumise à aucune règle; il y a des couches presque verticales, et il y en a d'inclinées au-dessus et au-dessous de 45°. Ces inclinaisons résultent évidemment de perturbations, de soulèvements ou d'affaissements du sol, postérieurs au dépôt du terrain.

La grande couche du Creusot peut être citée comme exemple des fortes inclinaisons que peut présenter la houille. Cette couche incline en moyenne à 70°, et, sur quelques points, elle est même tout à fait renversée. La coupe (fig. 21) prise au fond

de la vallée, au point où la couche contournée présente un double pendage, indique les conditions moyennes de l'allure du terrain.

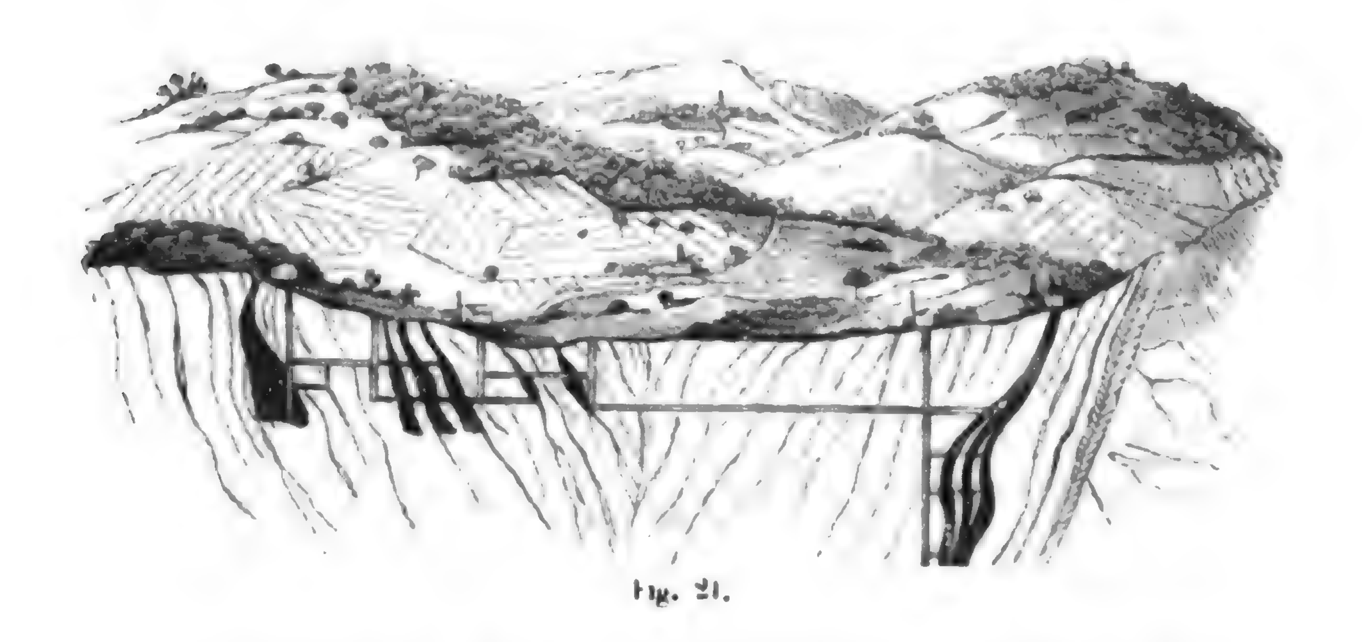


Fig. 21.

Les couches de grès, de conglomérats et schistes qui partagent ces allures, ont dû nécessairement, comme tous les terrains sédimentatres, être déposées dans une situation à peu près horizontale : le terrain a donc été soulevé à une ou plusieurs époques, et ces soulèvements ont donné aux couches une direction et des inclinaisons coordonnées avec la disposition générale du bassin.

La direction des couches est assez généralement constante dans un bassin houiller, mais les inclinaisons varient. Ainsi l'on a remarqué que, sur les lisières opposées d'un bassin, les pendages étaient le plus souvent en sens opposé, et l'on a constaté qu'il y avait quelquefois réunion de ces deux pendages vers le milieu du bassin, par une partie plane ou courbe qu'on a appelée *fond de bateau*, parce qu'en effet la coupe des deux pendages ainsi réunis rappelait assez bien la coupe d'un bateau. Cette disposition, très-fréquente, indique que les bassins houillers ont été comprimés par des soulèvements latéraux.

Le changement des inclinaisons entraîne souvent l'existence

Digitized by Google

de courbes de raccordement, qui sont les *plis* des couches. Dans la plupart des bassins, les plis sont à grands rayons ; mais ceux que présentent les grands bassins septentrionaux sont quelquefois tellement subits et prononcés, qu'ils changent l'inclinaison des couches de 10 et 15°, à 75 et 80°.

La coupe (fig. 22) est un exemple des ploiements qui affec-

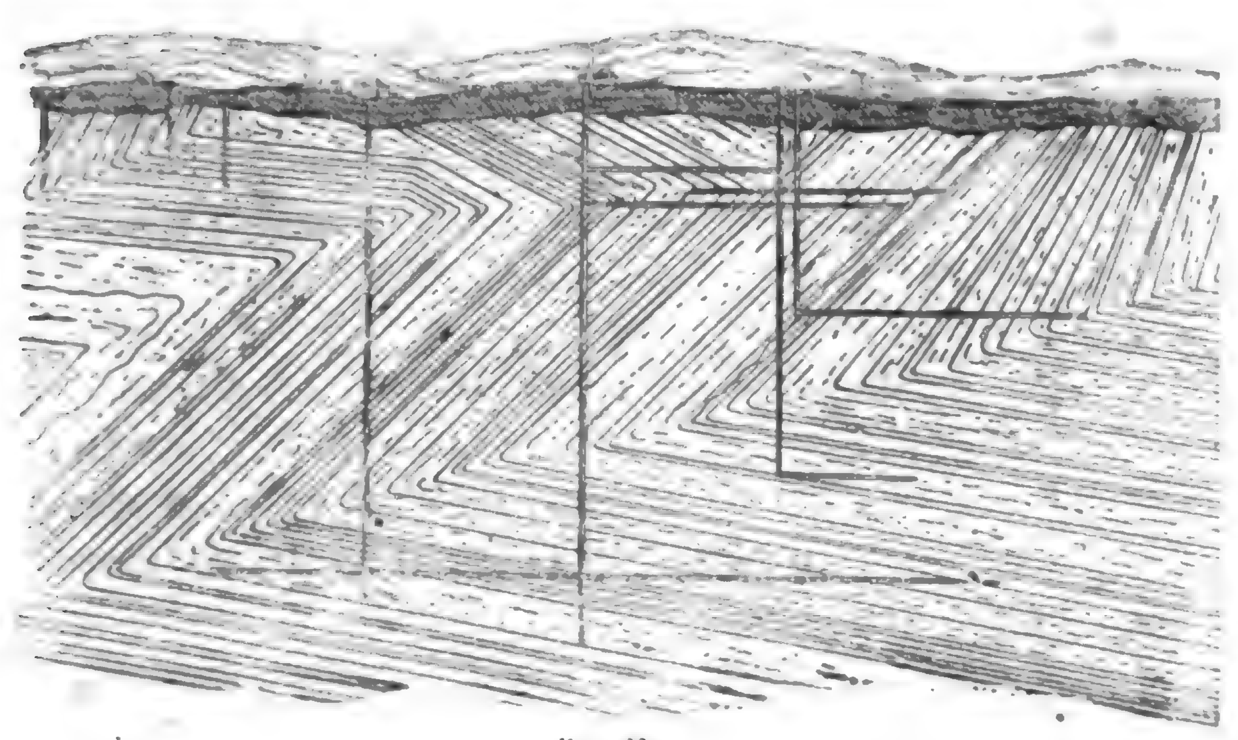


Fig. 22.

tent tout l'ensemble des couches houillères du bassin de la Belgique et du nord de la France, ploiements qui permettent à des puits verticaux de recouper deux et trois fois les mêmes couches. Le plus souvent il y a renflement dans l'angle ou *crochon* d'un pli, et l'épaisseur d'une couche d'un mètre peut y être portée à 2 mètres ; d'autres fois, la couche se trouve au contraire étranglée.

Les portions de couches dont l'inclinaison est au-dessus de 20° portent le nom de *plats*, et l'on appelle *droits* celles qui affectent une forte inclinaison. Les mêmes couches, ainsi qu'on le voit dans cette coupe, affectent alternativement la disposition de *plats* et de *droits*.

Les plis ont à la fois une direction et une inclinaison, et

Digitized by Google

forment une sortent de gouttière horizontale ou inclinée qu'on appelle l'*ennoyage*.

Ces ploiements de terrain sont évidemment l'effet des causes dynamiques qui ont produit les inclinaisons ; ils résultent de soulèvements qui ont ondulé la superficie du sol, et de pressions latérales qui ont forcé les faisceaux ondulés à occuper un espace beaucoup moindre.

Tous les plis n'ont pas les caractères nets et réguliers des couches du Nord; dans les couches puissantes des bassins méridionaux, ils sont accompagnés de renflements et d'étranglements. Ces *étranglements* et *renflements* sont, le plus souvent, solidaires, et, dans quelques bassins, les mineurs ont l'habitude de dire, lorsque le toit et le mur s'écartent brusquement : La couche se renfle, elle va se perdre.

Lorsque le toit et le mur, se rapprochant, viennent à se toucher et à supprimer momentanément la couche, l'accident prend le nom de *crain* ou *coufflée*. En suivant le filet charbonneux qui subsiste presque toujours comme une trace laissée par la houille elle-même, ou, à son défaut, en suivant les roches du toit et du mur dont la nature fournit des indices suffisants pour se maintenir dans le plan de stratification, on arrive à retrouver la couche, après une interruption plus ou moins longue.

Les crains sont quelquefois tellement multipliés, qu'ils modifient l'allure des couches de houille d'une manière qui en complique beaucoup l'exploitation. Ainsi, dans les couches de la Loire-Inférieure, il y en a une telle quantité, que ces couches ne sont plus qu'une suite d'amygdales, séparées par des interruptions aussi longues que les portions de couches elles-mêmes. Cette allure, nommée *allure en chapelet*, n'est nulle part aussi prononcée que dans les mines de Languin, près de Nort : les travaux de ces mines ont constaté l'existence de trois plans de stratification des grès et schistes, inclinés de 75 à 80°, dans lesquels se trouvent des masses amygdalines de houille. Ces masses ont 4 et 6 mètres dans leur plus grand renflement,

Digitized by Google

mais leur puissance se soutient à peine sur des longueurs de 10 et 20 mètres; elle s'étrangle ensuite pour être interrompue par un crain; de telle sorte que la coupe de chaque partie de la couche est réellement lenticulaire et a rarement au delà de 40 à 50 mètres de direction.

Les exploitants sont quelquefois très-embarrassés lorsqu'ils ont poursuivi la trace d'un crain pendant un long espace; car, s'ils ne rencontrent aucun indice de reprise, ils ne savent si l'interruption doit être attribuée à la présence d'un crain ou à la cessation définitive du charbon. Aucune règle ne peut être posée à cet égard; l'étude de la structure et de la composition du terrain peut seule fournir quelques indications. Ainsi, dans le cas de la cessation complète d'une couche, cette cessation n'est pas accompagnée, comme dans le crain, de perturbations dans l'allure et la texture du charbon, non plus que dans la stratification du toit et du mur. La couche maigrit sans aucun signe précurseur, se divise et s'appauvrit; le charbon devient moins pur, mais sans être brisé; il acquiert même plus de solidité en se chargeant de parties terreuses.

Les *failles* sont des accidents très-communs daus les couches de houille. Ce sont des cassures qui affectent tout l'ensemble du terrain et y causent des dénivellations plus ou moins considérables.

Ces failles ont une direction déterminée, et, généralement, si un bassin est affecté par plusieurs systèmes de cassures qui suivent des directions différentes, ces systèmes sont composés chacun de plusieurs failles, liées entre elles par un parallélisme approximatif de leur direction.

L'intensité des failles est très-variable : parfois elles interrompent à peine le terrain et apparaissent comme de simples fissures qui ont changé le niveau des deux parties rompues, mais pas assez pour qu'il y ait interruption totale de la houille, qu'il est toujours facile de suivre, lorsque le rejet ne dépasse pas l'épaisseur de la couche; d'autres fois, au contraire, il y a isolement complet des deux parties rompues, non-seulement

par l'effet d'un rejet ou dénivellation très-considérable, mais par l'interposition et l'épaisseur de la cassure, laquelle est remplie par les roches écroulées et brouillées qui en formaient les parois.

La couche du Monceau, près de Blanzy, présente des failles très-prononcées qui changent à la fois le niveau et l'inclinaison

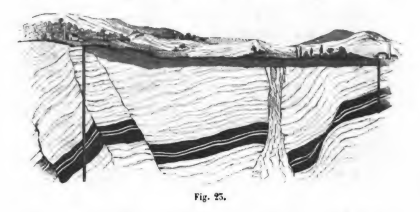


Fig. 25.

de la couche; et, comme il existe un autre système de failles perpendiculaire à celui qui est indiqué par la coupe figure 25, il en résulte que la couche est divisée en parallélipipèdes plus ou moins grands, tout à fait isolés les uns des autres, et qui ont été longtemps regardés comme des masses n'ayant aucune relation entre elles.

Cette coupe de la couche du Monceau fournit encore l'exemple d'un étranglement causé par les mouvements postérieurs au dépôt du terrain houiller et d'un *brouillage* qui interrompent totalement la houille. Les *brouillages* sont, comme on le voit, des intervalles plus ou moins considérables, compris entre deux plans de fracture et dans lesquels toutes les couches sont brisées et réduites en blocs anguleux mélangés ensemble.

Le caractère essentiel qui résulte de cette explication des failles et des brouillages, c'est que ce sont des plans de frac-

Digitized by Google

ture qui, dans les bassins houillers, ont une direction et une inclinaison fixes, et peuvent par conséquent être déterminés comme les plans des couches de houille. Ces plans de dislocation sont, de plus, assujettis entre eux à des lois de parallélisme. Il peut y avoir plusieurs systèmes ayant des directions et des inclinaisons différentes ; mais toutes les failles d'un bassin sont cordonnées relativement à ces divers systèmes ; de telle sorte qu'il suffit souvent de déterminer la direction et l'inclinaison d'une faille pour savoir (d'après l'étude de l'ensemble du terrain) quelle peut être son importance relativement au rejet de la couche, et dans quel sens ce rejet a pu avoir lieu. Quelques lois, communes aux failles et aux filons, sont d'ailleurs d'un puissant secours pour cette étude ; nous les exposerons en traitant des filons métallifères.

Lorsque les failles font partie des grands accidents qui ont déterminé le relief de la surface du sol, les rejets sont, en quelque sorte, proportionnés aux inégalités que présente ce relief. Ainsi il y a des rejets de plus de 100 mètres dont l'existence est généralement indiquée par les vallées et les inégalités de la surface.

On a souvent cherché à établir des rapports entre l'allure des couches de houille et les accidents de la superficie du sol. Ainsi, dans un grand nombre de bassins, la direction des couches coïncide avec celle du grand axe du terrain houiller, et ce grand axe est lui-même dirigé dans le même sens que les vallées ; de telle sorte que la direction des couches se confond avec celle des lignes de partage des eaux et des thalvegs principaux. Dans quelques autres, les plans de stratification du terrain ont non-seulement la même direction, mais encore les mêmes inclinaisons que les versants. D'autres fois, enfin, la disposition est inverse, et l'inclinaison des couches est à contre-pente des versants sur lesquels elles affleurent.

Il ne faut pas attribuer une grande importance à ces concordances de l'allure des couches avec les ondulations de la surface, les dislocations des couches ayant été le plus souvent

Digitized by Google

produites par des mouvements très-anciens qui n'ont laissé que peu de traces sur les surfaces actuelles.

Recherche de la houille. La formation houillère est la seule, dans toute la série des terrains, où la présence des couches de combustible soit assez fréquente et assez ordinaire pour qu'il soit rationnel d'y faire des recherches sans aucun autre indice que la certitude de l'existence de la formation, c'est-à-dire la reconnaissance des grès et des schistes de cette époque.

Deux cas peuvent se présenter dans une recherche de houille : 1° avoir à rechercher la houille dans un bassin connu où il existe déjà des exploitations : 2° chercher la prolongation d'un bassin houiller sous d'autres terrains superposés, ou même chercher *à priori* si la formation houillère existe sous les terrains de la surface.

Dans le premier cas, les recherches doivent être guidées par la connaissance des accidents et de l'allure des couches de houille du bassin que l'on explore. Toutes les fois que, dans un bassin, la direction des couches connues conduit sur un point, et que l'inclinaison consultée donne également l'espoir de rencontrer, à une profondeur convenable, le prolongement de ces couches, une recherche est rationnelle et peut être entreprise. Si, par suite de l'absence ou du trop grand éloignement des exploitations, on ne peut obtenir aucun indice sur la position probable de la houille, cette position ne pourra être déterminée que par l'exploration de toute l'épaisseur du terrain, et cette épaisseur devra être forée jusqu'aux conglomérats inférieurs ou jusqu'au terrain de transition. Les bassins stériles sont des exceptions; les parties privées de houille n'y sont que des lacunes ; et l'insuccès sur un point ne doit pas empêcher les recherches sur un autre. Il y a peu à insister sur ce premier cas ; les détails donnés précédemment sur les accidents des couches montrent quels sont les indices à consulter et quels sont les faits à étudier.

La recherche du terrain houiller lui-même, sous un ou plusieurs morts-terrains superposés, peut être entreprise dans des circonstances très-diverses : quelques exemples les feront apprécier.

Digitized by Google

Certains bassins ne sont connus que par des séries d'affleurements, interrompus par des terrains plus récents qui recouvrent la plus grande partie de la surface houillère. L'analogie de composition des lambeaux découverts, l'harmonie de direction et de pendage des couches, enfin l'exemple de quelques exploitations qui poursuivent déjà les couches sous les terrains superposés, ont conduit à reconnaître et à admettre, dans la plupart de ces cas, la continuité souterraine entre ces divers lambeaux et leur réunion en un ou plusieurs bassins. Tel est le bassin de Saône-et-Loire, dont les cinq sixièmes sont recouverts par des dépôts arénacés rouges, de l'époque du trias; le bassin de Brassac, dont l'extrémité nord est seule à découvert, au confluent de l'Allier et de l'Alagnon, et qui se perd au sud sous les terrains tertiaires, de telle sorte que ses limites méridionales sont inconnues; tels sont les bassins d'Aubin et de la Grand'-Combe, en partie recouverts par les dépôts jurassiques. Tel est enfin le grand bassin du Nord, affleurant à Aix-la-Chapelle, Liége et Charleroi; presque toujours recouvert, à Mons, par le terrain crétacé, et enfoui, à son entrée en France, sous les terrains tertiaires et crétacés, à une profondeur toujours croissante, à mesure qu'on s'avance vers l'ouest.

L'expérience a démontré que, dans tous ces exemples, les recherches devaient être guidées par le grand principe de la direction, non plus seulement des couches houillères connues, mais du terrain de transition qui les encaisse; qu'un puits de recherche doit s'écarter le moins possible de l'axe général du bassin, afin d'éviter de tomber sur quelque saillie du terrain de transition; enfin, que les recherches doivent être faites de proche en proche, parce que le bassin peut s'infléchir pour prendre une autre direction, ou même se rétrécir et s'interrompre.

Guidé par le principe de direction des couches houillères et des couches de transition, comme on l'a été pour le bassin houiller du Nord, découvert aux environs de Mons et successivement reconnu sous les territoires de Valenciennes, Douai, Courrières et Béthune, on peut marcher dans les explorations

Digitized by Google

du terrain houiller, sinon avec certitude, du moins avec toutes les garanties que peut fournir la géologie ; mais, dès que l'on voudra chercher à *priori* le terrain houiller sous les immenses surfaces tertiaires et secondaires qui le recouvrent peut-être, cette science ne pourra plus fournir que des indications très-indirectes.

Supposons qu'on se propose de chercher le terrain houiller sous le territoire de Paris. La direction du bassin houiller du Nord et ses limites connues, au nord et au sud, démontrent que ce bassin ne peut exister sous Paris. Les bassins houillers connus vers l'est ou le sud ne fournissent aucun indice sur la possibilité de trouver des terrains similaires en ce point. D'un autre côté, Paris est au centre d'un bassin tertiaire, il faudra donc traverser les dépôts de cette époque ; or, comme ce bassin est lui-même contenu dans une dépression de la craie qui affleure tout autour et dont la continuité souterraine est démontrée par le forage de Grenelle, il faudra traverser encore ce terrain dont l'épaisseur est d'environ 500 mètres. Le terrain jurassique, qui enclave le terrain crétacé, présente les mêmes chances de continuité, et son épaisseur probable sera au moins celle de la craie : voilà donc le fonçage nécessaire déjà porté au delà de 1,000 mètres. Or, arrivé à ce point, on peut encore être séparé du terrain houiller par les dépôts arénacés du terrain des grès rouges. Admettons l'absence possible de ces dépôts, quelles peuvent être les chances de succès ?

Si l'on compare les surfaces de transition connues à celle des terrains houillers qui les recouvrent, on reconnaît que ces derniers ne sont pas dans la proportion d'un quarantième. Les superficies souterraines et inconnues de ces deux terrains doivent-elles présenter une autre proportion ? Aucune considération n'autorise à le penser. Prenons la chance la plus favorable ; elle nous sera fournie par la superficie de l'Angleterre, où la proportion des surfaces houillères est d'environ un vingtième ; cette chance est-elle suffisante pour qu'on s'expose à traverser 1,000 ou 1,200 mètres de terrain stériles ? La réponse n'est pas douteuse.

Telles sont les considérations qui peuvent servir de solution à des questions de recherche : calculer la série des terrains à traverser d'après la position géologique du point proposé, les épaisseurs probables de ces terrains, puis, enfin, les chances de trouver le terrain houiller d'après les conditions des surfaces connues.

Quant à rechercher la houille ou l'anthracite dans le terrain de transition, les chances de réussite sont tellement inférieures à celles qu'offre le terrain houiller, qu'on ne peut baser aucun travail sur cette hypothèse. Les travaux n'y peuvent être tentés que sur des indices *directs* fournis, soit par des affleurements, soit par une complète identité des roches avec celles qui accompagnent des gisements connus.

CHAPITRE IV

TERRAINS SECONDAIRES.

Les terrains secondaires couvrent de vastes surfaces et représentent de grands bassins hydrographiques où les eaux de la mer ont successivement séjourné et laissé des épaisseurs considérables de dépôts arénacés, siliceux, argileux ou calcaires.

Ces roches sont généralement lithoïdes, et ne prennent l'aspect métamorphique que dans les contrés montagneuses telles que les Alpes, les Pyrénées, l'Atlas, etc., où elles ont été violemment soulevées, et où elles ont subi des altérations profondes.

Les fossiles sont nombreux et abondamment répandus dans la plupart des dépôts de la période secondaire. Ces fossiles, joints aux variations que présentent les roches, ont servi à établir des divisions en terrains qui représentent les plus longues périodes des actions sédimentaires, et en formations qui représentent des subdivisions de ces périodes séparées par des mouvements du sol.

Les mouvements du sol, pendant la période secondaire, ont en effet déterminé des modifications minéralogiques dans les dépôts, des distinctions dans la stratification par discordance ou transgression, des différences dans la nature des fossiles caractéristiques. Ces fossiles sont les ammonites, les belemnites, les gryphées, les térébratules, les trigonies, les hyppurites, etc. On trouve également des débris de grands animaux vertébrés que l'on a souvent cherché à reconstruire, et que l'on appelle sauriens.

En mettant à profit tous les éléments de classification que présentent les dépôts secondaires, on est arrivé à les diviser en trois grands terrains distincts, qui sont, à partir de la formation houillère, le terrain des *grès rouges*, le terrain *jurassique* et le terrain *crétacé*. Chacun de ces terrains se subdivise en une série de formations, de telle sorte que le tableau de cette succession peut être tracé ainsi qu'il suit :

TERRAINS SECONDAIRES.

Terrain crétacé.	Formation crétacée.		Craie blanche avec silex.
			Craie marneuse.
	Formation du grès vert.		Craie tuffau.
			Craie glauconieuse, grès verts.
			Calcaires néocomiens.
Terrain jurassique.	Formations oolitiques.	supérieure.	Calcaire de Portland à gryphées virgules.
			Argile de Kimmeridge, d'Harfleur, etc.
		moyenne.	Calcaire corallien.
			Calcaire d'Oxford, de Lisieux, etc.
			Argile d'Oxford, de Dives, etc.
		inférieure.	Grande oolite, calcaire de Caen.
			Argiles et marnes à bélemnites.
	Formation du lias.		Marnes du lias.
			Calcaire lias à gryphées arquées.
			Grès inférieur, arkoses.
Terrain des grès rouges.	Formations du trias.		Marnes irisées.
			Calcaires muschelkalks.
			Grès bigarrés.
	Formations pénéennes.		Grès des Vosges,
			Calcaires magnésiens, zechstein.
			Nouveau grès rouge.

Si l'on jette un coup d'œil sur cet ensemble des terrains secondaires, on voit que la série commence par des dépôts arénacés, grès rouges et bigarrés, accompagnés de marnes et de quelques bancs calcaires, tandis que les parties moyenne et supérieure se composent principalement de calcaires et d'argiles.

Les grès rouges et bigarrés de l'époque secondaire, et par conséquent postérieurs aux dépôts houillers, contiennent sou-

Digitized by Google

vent des débris de roches porphyriques qui ne se trouvent pas dans les roches arénacées antérieures.

Cette postériorité à de grandes éruptions porphyriques paraît être la cause de l'immense quantité de peroxyde de fer anhydre que contiennent les formations rubéfiées qui sont à la base des terrains secondaires. Les éléments ferrugineux ne peuvent, en effet, avoir été fournis par les roches préexistantes, et c'est l'intérieur du globe qui apparaît à toutes les périodes géologiques comme la source naturelle des oxydes de fer répandus abondamment dans un si grand nombre de formations.

Ce qui donne souvent aux dépôts secondaires une physionomie tout à fait spéciale, ce sont les perturbations fréquentes qu'ont éprouvées ces dépôts sur un grand nombre de points.

Les montagnes du Jura, formées principalement par les calcaires de l'époque jurassique ; toute la région des Alpes qui nous présente les couches jurassiques et crétacées avec tant de bouleversements ; la chaîne des Pyrénées en partie formée de dépôts crétacés ; les montagnes de l'Atlas qui sillonnent tout le nord de l'Afrique et qui sont presque exclusivement crétacées ; les Apennins et tant d'autres régions montagneuses qui encaissent le bassin de la Méditerranée, nous montrent les terrains secondaires sous un aspect bien différent de celui des régions planes du nord de la France.

Les révolutions du globe, en mouvementant ainsi une grande partie des surfaces secondaires, ont imprimé aux dépôts qui les constituent des caractères particuliers, frappants pour tous ceux qui les parcourent. Les versants dénudés des vallées présentent les inclinaisons rapides et souvent courbées des étages argileux et calcaires ; les failles y placent à côté les uns des autres les dépôts arénacés inférieurs et les dépôts argilo-calcaires supérieurs.

Les grands dépôts calcaires de l'époque secondaire ne sont pas propres à retenir les eaux. Les cassures qui les sillonnent leur ouvrent, au contraire, des voies souterraines que leur circulation agrandit ; ces eaux déterminent ces cavernes si fré-

Digitized by Google

quentes, curiosités naturelles d'un grand nombre de localités, ainsi que les phénomènes des sources tantôt intermittentes comme celles des environs de Vesoul, d'autres fois continues et remarquables par leur volume comme celles de Vaucluse.

Les surfaces couvertes par les terrains secondaires ont été évaluées en France à plus de dix-sept millions d'hectares qui se répartissent ainsi qu'il suit entre les trois divisions principales :

	Hectares.
Terrains crétacés.	6,200,000
Terrains jurassiques.	10,500,000
Terrains de grès rouges. . . .	500,000
	17,200,000

C'est environ le tiers de la superficie totale de la France.

TERRAIN DES GRÈS ROUGES.

Les terrains arénacés qui sont à la base de la série secondaire sont divisés en deux groupes distincts, le groupe des grès rouges ou *pénéens* et celui du *trias* ou des grès bigarrés.

Le groupe des grès pénéens ou pauvres, ainsi nommés parce qu'ils recouvrent les dépôts houillers, comprend souvent des calcaires magnésiens ou des grès supérieurs, dits grès vosgiens, qui ont déterminé sa division en trois formations.

Formation du nouveau grès rouge. — Cette formation peut être considérée comme un seul étage d'une épaisseur moyenne de 150 à 200 mètres, composé de conglomérats, de brèches, de poudingues et de grès ordinairement rougeâtres, qui alternent entre eux. Les lignes de stratification qui divisent cet étage en un nombre de couches plus ou moins grand sont déterminées soit par la grosseur des fragments agrégés, soit par leur nature minéralogique. Ces fragments, anguleux ou roulés, varient en effet de grosseur, depuis plusieurs mètres cubes jus-

Digitized by Google

qu'à celle des grains à peine discernables qui forment les grès les plus fins.

Il est à remarquer que les conglomérats dans lesquels se trouvent les plus gros blocs forment toujours les parties inférieures. La nature de ces blocs est en général facile à reconnaître, et l'on peut même déterminer souvent les localités d'où ils proviennent, car ce ne sont pas seulement des roches très-dures comme les granites, les porphyres ou les quartz, on y trouve aussi des fragments de schistes de toute espèce et de calcaires carbonifères.

Le grès rouge proprement dit est à grains de quelques millimètres ou de quelques centimètres, cimentés par une pâte rougeâtre, argilo-ferrugineuse; ce grès grossier peut devenir très-fin et passer à l'arkose ou psammite schistoïde et même à l'argile schisteuse.

Comme toutes les formations de débâcle, le grès rouge ne contient pas de débris organiques.

Certaines contrées de l'Allemagne, la Saxe, la Thuringe, la Silésie, sont les contrées classiques du développement des nouveaux grès rouges; on les y désigne sous la dénomination de *todte liegende Rœthe* (mort terrain rouge). En France, on ne trouve guère cette formation que dans les contrées de l'Est, autour du massif des Vosges.

Dans ces diverses contrées, les grès rouges reproduisent les caractères généraux que nous venons d'indiquer. C'est tantôt un conglomérat à gros blocs, tantôt un grès plus ou moins grossier dont les assises supérieures passent à l'argile schisteuse. Les conglomérats sont toujours liés par leur composition au terrain environnant; ils sont composés de fragments de granites, micaschistes, schistes argileux, porphyres, quartz, lydiennes, grauwackes, etc.; mais spécialement de schistes dans un terrain schisteux, de porphyres dans un terrain porphyrique. Les brèches et les poudingues présentent beaucoup moins de liaison avec le terrain environnant que les conglomérats de la base; les fragments de quartz et de lydienne y dominent d'une manière

Digitized by Google

d'autant plus exclusive que le grain est plus fin. Cependant les grès, en atteignant leur maximum de ténuité, deviennent argileux et passent quelquefois à des psammites fissiles, analogues aux grès schisteux du terrain houiller.

En Thuringe, en Saxe, en Silésie, le grès rouge est souvent lié, de même qu'en Angleterre (Sommersetshire, Shropshire), à des porphyres qui s'intercalent dans les couches. Ces intercalations changent complétement l'aspect du terrain, les porphyres ayant donné lieu à des altérations qui déterminent des passages insensibles du grès aux porphyres feldspathiques ou amphiboliques et qui se sont propagées quelquefois sur des étendues considérables.

En France, le grès rouge se montre autour du massif de terrain ancien qui forme la partie centrale et culminante des Vosges; il constitue généralement la partie inférieure des vallées, dont le couronnement est formé par le grès des Vosges (la formation intermédiaire du zechstein n'étant pas représentée) : c'est un grès assez grossier, à texture lâche; diversement coloré, surtout en rouge amarante, mais avec des parties jaunâtres ou d'un gris bleuâtre, passant à une marne fissile et micacée qui contient quelquefois des cristaux de feldspath en décomposition. Les couches inférieures sont des conglomérats grossiers et peu cohérents, formés de fragments de porphyre et de roches anciennes.

La formation du grès rouge est sujette à manquer ou du moins à être considérablement réduite, et l'on peut signaler comme points principaux de leur développement les environs de Ronchamps, de Villé, Raon-l'Étape et de Sarrebruck.

A Raon-l'Étape, Villé, Sainte-Croix, les grès rouges se lient avec des porphyres rouges quartzifères et des porphyres amphiboliques ; ce qui complète leur analogie avec ceux de l'Angleterre et de la Thuringe. Dans sa partie supérieure, ce grès passe insensiblement au grès des Vosges.

Formation du zechstein. — Cette formation, presque entièrement calcaire, est encore plus sujette à manquer que celle des

Digitized by Google

grès rouges. Elle n'existe pas en France où elle paraît remplacée, dans les contrés de l'Est, par la formation des grès vosgiens. Les provinces allemandes de la Thuringe, du Mansfeld, de la Hesse et de la Franconie sont les contrées classiques de son développement.

Dans ces contrées centrales de l'Allemagne, le grès houiller et le grès rouge sont recouverts par une série de couches calcaires et marneuses, de couleurs foncées, dont l'épaisseur moyenne est d'environ 150 mètres et qui peut être regardée comme la première formation calcaire de tout le pays situé au nord du Danube. M. Freisesleben, qui a décrit cette formation du zechstein avec beaucoup de détail, la divise en deux étages : l'étage inférieur qui comprend des schistes marneux et des calcaires compactes, et l'étage supérieur composé de calcaires poreux, cellulaires et fétides.

L'*étage inférieur* se subdivise lui-même en deux assises : la première est composée de trois variétés de schistes, qui sont généralement superposées dans l'ordre suivant de bas en haut : schiste sablonneux, schiste bitumineux, schiste marneux. Ces schistes sont recouverts par la seconde assise, composée d'un calcaire compacte, gris cendré ou noirâtre, dur et tenace, qui est le zechstein proprement dit.

Le schiste bitumineux n'a qu'une épaisseur moyenne de $0^m,33$; mais sa composition spéciale et sa continuité en font le meilleur horizon géognostique de la contrée. On le retrouve, en effet, avec les mêmes caractères minéralogiques, sur des points distants de 50 kilomètres et plus, et, comme il est généralement exploité, il a de tout temps excité l'attention des géologues; c'est un schiste imprégné de bitume et de carbone, qui contient en outre du sulfure de fer et des pyrites de cuivre argentifères qui lui ont fait donner le nom de *kupferschiefer*.

Ce schiste bitumineux métallifère est encore remarquable par les empreintes de poissons que l'on y a trouvées en grande abondance avec des restes de sauriens.

Digitized by Google

Le calcaire ***zechstein*** est compacte, enfumé, à cassure conchoïde. Sa puissance varie depuis quelques mètres jusqu'à 20 et 30 ; il passe quelquefois aux marnes, et ses variations de composition et de structure le subdivisent naturellement en couches distinctes. Il renferme des minéraux accidentels, tels que du spath calcaire blanc, du gypse, du quartz et du mica.

L'*étage supérieur* de la formation du zechstein se subdivise aussi en deux assises : le calcaire celluleux (rauwacke), et le calcaire fétide (stinkstein).

Le calcaire *rauwacke* est un calcaire magnésifère, dur et compacte, de couleur sombre, grisâtre ou noirâtre, dont le caractère essentiel est d'être celluleux et même caverneux. Ses cavités sont inégales, longues, étroites et dilatées dans le sens de la stratification. On a remarqué que la puissance de ce calcaire est en raison du nombre et de la grandeur des cavités qu'il renferme; lorsqu'il y en a très-peu, c'est une couche de calcaire écailleux ou grenu, dont la puissance est faible; tandis que, si les cavités abondent, cette puissance est beaucoup plus considérable. Quelquefois ce calcaire est noduleux et passe à la brèche; il arrive même que le ciment disparait, et que les nodules calcaires sont simplement entassés et incohérents.

Le calcaire *stinkstein* est compacte ou grenu, d'un brun noirâtre ou verdâtre, bitumineux, essentiellement fétide par percussion ou frottement; sa structure est massive, fragmentaire ou tabulaire. Ce calcaire passe quelquefois à une brèche dont la pâte est marneuse et dont les fragments sont anguleux et compactes ; d'autres fois, et surtout dans sa partie inférieure, il devient friable et pulvérulent, et contient des rognons disséminés de calcaire magnésifère. Le calcaire friable est désigné sous le nom de cendres (*asche*) : les grains en sont cristallins. L'assise du stinkstein a une puissance variable de 1 à 30 mètres : elle contient, comme substances accidentelles, du gypse, du sel marin, du fer hydroxydé, de la chaux carbonatée en rognons friables et nacrés, quelques concrétions siliceuses. Le gypse s'y trouve en amas couchés et traversés par des veines de stinkstein;

il est compacte, grenu, quelquefois propre à être travaillé, et souvent associé au sel gemme, qui communique à certaines couches une saveur salée.

La subdivision de cette formation en quatre assises se maintient assez bien dans tout le centre de l'Allemagne, mais sans que les lignes de séparation soient nettement tranchées; car toutes ces assises sont susceptibles de se fondre les unes dans les autres par des passages graduels.

La formation du zechstein se montre en Angleterre avec une puissance à peu près égale à celle qu'elle atteint en Thuringe, si ce n'est en étendue, du moins en épaisseur; elle y a reçu le nom de *calcaire magnésien*. Plusieurs des traits caractéristiques y sont conservés; d'autres ont disparu, de telle sorte qu'il n'est guère possible d'y retrouver les subdivisions allemandes. Les substances métalliques du kupferschiefer ne se reproduisent pas; mais les mêmes poissons ont été reconnus dans un schiste bitumineux inférieur. Le gypse et le sel s'y retrouvent aussi, et le caractère magnésifère des calcaires est général et très-prononcé.

Dans le Calvados, de même que dans plusieurs parties de l'Angleterre, le terrain pénéen commence par des brèches calcaires, désignées sous le nom de *conglomérats magnésiens*; ce sont les calcaires préexistants et en grande partie non dolomitiques qui ont fourni les matériaux de ces conglomérats; le ciment qui les réunit est magnésifère. Cette assise peut être rapportée à la formation du zechstein.

Formation du grès des Vosges. — Le zechstein est remplacé dans l'Est de la France par une formation arénacée, appelée *grès des Vosges*, parce qu'elle est surtout visible sur le périmètre de ce groupe montagneux. Ces grès forment, autour du groupe des Vosges, une bordure de plateaux élevés et découpés, à formes carrées et dont la base est le plus souvent formée par les grès pénéens.

Le grès des Vosges est composé de grains amorphes de quartz, incolores et translucides, souvent d'apparence cristal-

Digitized by Google

line, à facettes miroitantes, et de grosseur variable, depuis celle d'un grain de millet jusqu'à celle d'un grain de chènevis. Au milieu des grains de quartz, on en voit souvent d'autres d'un blanc mat, opaques, plus anguleux et moins solides, qui sont du feldspath. Les couleurs les plus ordinaires de ce grès sont le rouge pâle ou foncé, le violet et le jaune ocreux. Les couches diffèrent les unes des autres par la diversité des nuances, accompagnée ordinairement de variations dans la cohésion et dans la grosseur des grains; elles diffèrent surtout par l'abondance plus ou moins grande de galets, qui ont jusqu'à 0,1 de diamètre, et qui en font quelquefois un véritable poudingue à pâte de grès. Ces galets, composés de quartz blanc, gris rougeâtre et rouge, à cassure inégale, quelquefois micacé, caractérisent le grès des Vosges.

Le grès des Vosges repose sur le grès rouge et souvent il y a passage insensible entre les deux roches, de sorte qu'il est difficile de déterminer d'une manière précise la ligne de démarcation qui les sépare ; bien que, si l'on se rappelle les caractères du grès rouge dans les Vosges, où il est souvent représenté par des conglomérats incohérents de roches anciennes, par des brèches à fragments de schistes et par des grès passant aux argiles rougeâtres, on constate entre eux des différences notables. Mais, à mesure que l'on s'élève, le grès rouge devient plus fin et plus solide, les fragments anguleux disparaissent, la roche est moins terreuse, moins grossière, et l'on arrive graduellement au grès quartzeux des Vosges, solide, parsemé de galets arrondis de quartz compacte ou grenu. La stratification des deux formations est généralement parallèle, ainsi qu'on peut le constater à Ronchamps et Sarrebruck, où ils recouvrent tous deux le terrain houiller.

Malgré cette concordance de la stratification du grès rouge et du grès des Vosges, M. de Beaumont a fait remarquer que, d'après les grandes hauteurs qu'atteint le grès des Vosges, on peut supposer que les deux formations ont été séparées par des mouvements du sol qui auraient élevé le niveau des eaux.

Digitized by Google

Formations du trias — Trois formations supérieures à ces premiers dépôts arénacés constituent un ensemble désigné sous la dénomination de *terrain du trias*, terrain plus important que le terrain pénéen par son étendue et sa puissance.

Ces trois formations, la première, quartzeuse, arénacée; la seconde, calcaire, et la troisième, marneuse, sont remarquables par la simultanéité et la concordance de leur développement. Autour des Vosges, elles forment trois zones sinueuses, tout à fait parallèles et concentriques; l'une n'est presque jamais développée sans que les autres le soient également, ce qui, joint aux différences de leur composition, les caractérise comme formations distinctes, déposées pendant une même période.

Les contrées qui avoisinent le Rhin, depuis le sud des Vosges jusque vers le Hundsdruck et le Taunus, et, sur la rive droite, depuis le massif de la forêt Noire jusqu'à celui de l'Odenwald et toute la région qui s'étend de l'Odenwald jusqu'aux premières montagnes du Hartz, sont les contrées classiques du développement des formations triasiques. Ces formations se retrouvent d'ailleurs d'une manière presque générale dans les diverses contrées du globe, affectant la même position géologique, c'est-à-dire affleurant entre les relèvements des terrains de transition et les grandes formations des calcaires secondaires.

La liaison géologique qui existe entre les formations du trias et les formations pénéennes est d'ailleurs telle, qu'il est souvent difficile de les distinguer. En effet, partout où le zechstein n'est pas représenté, le grès bigarré repose immédiatement sur le nouveau grès rouge, avec lequel il a d'ailleurs de grandes analogies minéralogiques; de là des incertitudes fréquentes, par exemple, en Allemagne, où le grès rouge est très-puissant, et recouvert immédiatement par le grès bigarré qui semble former sa partie supérieure.

La puissance moyenne des formations du trias ne dépasse guère quelques centaines de mètres, et les moyennes indiquées sont de 100 mètres pour le grès bigarré; 100 mètres pour le muschelkalk, et 200 mètres pour les marnes irisées. La forma-

tion qui est la plus sujette à se resserrer est celle du muschelkalk ; il est même des cas, notamment en Angleterre, où elle n'est pas représentée.

Lorsque le muschelkalk est ainsi supprimé, les couches supérieures du grès bigarré, étant marneuses et de couleurs variées, se rapprochent d'une manière très-prononcée des caractères des marnes irisées ; ces deux formations se lient et se fondent en une seule, que les Anglais ont désignée sous le nom de *new red-sand-stone and red marl*. Si l'on supprimait les assises du muschelkalk en beaucoup de points de la Lorraine et de l'Allemagne, où les parties supérieures du grès bigarré sont analogues aux marnes irisées, la stratification étant d'ailleurs concordante, le même phénomène de fusion en une seule formation se reproduirait.

Les formations du trias ont de l'importance surtout par les nombreux gisements de gypse et de sel gemme qui s'y trouvent intercalés et qui semblent les caractériser. Il s'en faut que l'on puisse regarder ces deux substances comme leur propriété exclusive ; mais la position du gypse et du sel dans les marnes irisées de nos départements de l'Est, la reproduction de ces substances avec les mêmes circonstances de gisement dans les grès bigarrés de l'Angleterre et dans le muschelkalk de la Souabe, justifient l'intérêt que l'on a toujours attaché à ce terrain.

Formation du grès bigarré. — Les grès bigarrés sont généralement quartzeux, à grains fins, solides, rouges, verdâtres ou blancs jaunâtres ; ils renferment des paillettes de mica, tantôt rares et irrégulièrement disséminées, tantôt abondantes et placées dans des plans parallèles à la stratification, de manière à déterminer une structure fissile.

La structure de ces grès est presque massive dans les parties inférieures qui fournissent de très-belles pierres de taille ; la partie moyenne de la formation se compose de couches plus minces et à grains plus fins, qui sont souvent exploitées pour meules à aiguiser ; dans les parties supérieures, on en trouve de

très-fissiles, que l'on emploie comme dalles et même comme pierres tégulaires.

Ces couches fissiles supérieures perdent souvent leur consistance et passent à une argile terreuse, bigarrée, qui contient accidentellement des masses de gypse; elles affectent les teintes rouges qui dominent dans les assises inférieures; mais, plus souvent que ces dernières, elles présentent des taches d'un gris bleuâtre, lesquelles deviennent même assez grandes et assez abondantes pour former la couleur dominante. Enfin, les grès supérieurs alternent avec des couches minces de calcaire marneux et de dolomie, qui sont de plus en plus rapprochées à mesure que l'on s'élève et finissent par remplacer le grès; on entre alors dans la formation du muschelkalk.

Les fossiles végétaux sont assez communs dans les grès bigarrés à grains fins, on y a même trouvé des indices de lignites. M. Brongniart rapporte presque tous les végétaux trouvés au genre calamite. Les coquilles sont moins répandues; dans les carrières de Domptail on a cependant trouvé plusieurs bancs qui en sont pétris. Les principales sont des plagiostomes, des mélanies, des mytiles, des trigonies, des modioles, des avicules, etc.

Le grès bigarré se montre sur presque tout le pourtour des Vosges, où il forme des proéminences arrondies au pied des montagnes de grès vosgien. Il y a seulement quelques localités, telles que les environs de Plombières et de Sarrebruck, où le grès des Vosges, n'atteignant qu'une faible hauteur, est recouvert par le grès bigarré. Plusieurs vallées sont creusées dans presque toute l'épaisseur de cette formation et de nombreuses carrières y sont ouvertes, de sorte que l'on peut y étudier avec beaucoup de détail les variations de ses caractères.

Dans la contrée de Plombières et de Bourbonne-les-Bains, le grès bigarré se montre immédiatement au-dessus du terrain de transition, et, en partie, sur le grès des Vosges. Les assises inférieures sont très-épaisses et presque massives, à grains fins, gris rougeâtre. Elles renferment des noyaux aplatis d'argile

Digitized by Google

bleuâtre ou blanchâtre, couchés dans le sens de la stratification, et quelquefois des galets de quartz analogues à ceux du grès des Vosges, dont ils paraissent provenir; mais, outre que ces galets sont moins nombreux que dans le grès des Vosges, le grès bigarré renferme en même temps des empreintes végétales qui servent à le distinguer. Les couches moyennes sont à grains fins, un peu schisteuses, bleues, jaunes ou rouge amarante; les couches supérieures sont micacées, très-fissiles, à feuillets quelquefois contournés, souvent peu consistantes; entre Bains et Fontenois elles deviennent tout à fait terreuses et passent à des argiles que l'on emploie pour faire des briques.

Les grès bigarrés se montrent avec des caractères différents sur un grand nombre de points du périmètre du plateau central.

Dans la partie centrale du département de l'Aveyron, et à la jonction des départements de la Corrèze et de la Dordogne, à Brives, la roche dominante est un grès rougeâtre, souvent à grains fins, qui contient des nodules de marne : il repose tantôt sur le granite, tantôt sur le terrain houiller. Quand il recouvre le granite, les couches inférieures sont composées de gros galets provenant du terrain sous-jacent, englobés dans une pâte ferrugineuse que l'on exploite quelquefois comme minerai. A une certaine distance des terrains anciens, le grès reprend ses caractères ordinaires, mais il y a en quelque sorte passage entre ces terrains et les grès inférieurs par la présence de grains feldspathiques. Les couches supérieures affectent des couleurs plus claires et sont plus schisteuses; elles passent à des marnes rouges, maculées de vert, qui sont associées à des couches de calcaire magnésifère et contiennent quelquefois du gypse.

Ces grès bigarrés, qui existent non-seulement sur les pentes des Cévennes et des montagnes de l'Aveyron, mais se retrouvent sur la pente des Pyrénées, présentent accidentellement des veinules de cuivre carbonaté vert et bleu, de cuivre oxydulé, de baryte sulfatée. On rapporte également au grès bigarré beaucoup de gisements d'arkoses ou grès feldspathiques situés au-dessus des terrains granitiques sur le périmètre du plateau central.

Formation du muschelkalk. — Sous cette dénomination de muschelkalk ou calcaire coquillier du trias, on désigne un calcaire généralement compacte, grisâtre ou gris bleuâtre, à cassure conchoïde lorsqu'il ne contient pas un grand nombre de coquilles, inégale lorsqu'il en est comme pétri.

Ces calcaires sont souvent magnésifères; ils le sont même quelquefois au point de présenter à l'analyse une composition identique à celle de la dolomie, et pourtant leurs caractères minéralogiques diffèrent, même dans ce dernier cas, des caractères qui lui sont assignés. Lorsqu'ils sont ainsi très-magnésifères, ils ne contiennent plus de fossiles. De véritables dolomies se trouvent vers le contact du muschelkalk avec le grès bigarré, tandis que les assises supérieures contiennent des marnes schisteuses grisâtres, qu'on voit, à mesure qu'on s'élève, prendre des teintes verdâtres plus prononcées, devenir moins schisteuses, se charger de taches rouges et passer ainsi aux marnes irisées.

Les débris de coquilles sont très-abondants dans les calcaires de cette formation, comme l'indique sa dénomination. Les plus répandues sont : des térébratules, des mytiles, des ammonites, des encrines, des avicules, des plagiostomes, etc.

Autour des Vosges, une ligne courbe, qui traverse la contrée de Plombières et Bourbonne-les-Bains, se trouve bordée vers le sud-ouest de sa convexité par une suite de collines calcaires, assez escarpées, qui forment les bords d'un plateau presque horizontal. Cette série de collines calcaires court vers Épinal et Luxeuil, de telle sorte que le plateau, dont elles constituent la tranche, forme une ceinture autour de l'angle sud-ouest des Vosges.

Le calcaire de ces collines est en général gris de fumée, compacte, à cassure conchoïde; il repose sur le grès bigarré, en stratification concordante, bien que des failles aient quelquefois déterminé des dispositions qui semblent anomales. La dolomie que nous avons indiquée vers le contact des deux formations n'existe pas dans cette région; mais, les couches supérieures du grès bigarré étant marneuses et les couches inférieures du mus-

Digitized by Google

chelkalk étant sableuses et schistoïdes, il y a passage entre les deux formations.

Les calcaires muschelkalks présentent souvent des teintes jaunâtres qui paraissent résulter en grande partie de leur exposition à l'air, car on voit des blocs ainsi colorés conserver dans l'intérieur des teintes grises ou bleuâtres. Les assises supérieures sont en général terreuses, et passent à des marnes grises, jaunâtres, verdâtres et même noires. Ces marnes sont schisteuses et contiennent des calcaires compactes comme ceux qu'elles recouvrent, tantôt en couches alternantes, tantôt en nodules, dont les saillies déterminent des surfaces mamelonnées. En beaucoup de points elles sont traversées dans tous les sens par une foule de veines spathiques, qui restent en saillie lorsque la roche se décompose : enfin elles contiennent de petites plaques de grès blanc ou ferrugineux, dont on trouve beaucoup de fragments à la surface du sol.

Entre Lunéville et Domptail, le muschelkalk est en couches de deux à cinq décimètres d'épaisseur de calcaires compactes, gris ou gris verdâtre, esquilleux et quelquefois terreux, séparées par de petites plaques marneuses, dont la destruction facile met à découvert de nombreux fossiles, adhérents aux parties solides. Dans l'intéreur de la roche compacte les coquilles ne sont pas toujours déterminables ; elles se reconnaissent à la surface des cassures, soit par des lignes courbes et brillantes, soit parce que le calcaire, qui a pris leur place, n'est pas de la même teinte que celui qui forme la roche. Certaines assises pétries d'une multitude de coquilles, la plupart brisées et couchées dans le sens de la stratification, sont de véritables lumachelles ; d'autres présentent en certains points des coquilles dont le test a été détruit et remplacé par une matière ocreuse. On y a aussi trouvé des ossements de sauriens et de tortues.

Dans la vallée du Rhin le passage des grès bigarrés au muschelkalk se produit par l'alternance des grès avec des couches de dolomie, qui s'isolent ensuite et conduisent aux calcaires compactes et coquilliers. Ces calcaires sont en couches

Digitized by Google

de 2 à 3 décimètres, divisées par des fissures verticales souvent remplies de calcaire cristallin ou stalactitique. On y distingue des parties cristallines qui paraissent substituées à des débris fossiles. En s'élevant dans la formation, ces calcaires compactes alternent avec des variétés un peu terreuses, puis passent à des marnes schisteuses et à des argiles verdâtres qui forment les assises tout à fait supérieures. Quelques-unes de ces assises marneuses contiennent des calcaires compactes et noduleux.

Dans le Wurtemberg la formation du muschelkalk contient le sel gemme et le gypse, qui, dans l'Est de la France, semble la propriété exclusive des marnes irisées.

Le muschelkalk de Wurtemberg est divisé en quatre assises distinctes. L'assise inférieure est un calcaire à couches onduleuses et courbées, gris foncé et passant, comme le muschelkalk des Vosges, au gris jaunâtre dans les parties qui sont exposées à l'air. Ce calcaire contient des veines et de petits bancs de gypse ; il alterne dans sa partie inférieure avec des marnes sableuses et passe ainsi au grès bigarré, dont la partie supérieure est marneuse. Au-dessus de cette assise se trouve l'assise salifère, composée d'alternances calcaires, marneuses et argileuses qui renferment des bancs subordonnés de gypse avec des amas de sel gemme. Les calcaires et les marnes sont généralement de couleurs foncées, bitumineux et fétides ; ils contiennent quelquefois des lits de silex. L'argile est également grise ou brune, mais tachée et veinée de verdâtre, de bleuâtre ou de rouge ; elle a souvent une saveur salée. Le sel exploité en plusieurs points forme des amas dont la présence est presque toujours accompagnée de renflements et de courbures des couches, comme s'ils n'avaient été intercalés qu'après coup ; ces amas contiennent aussi des gypses, tantôt terreux et grenus, tantôt purs et striés.

Formation des marnes irisées. — La roche dominante de cette formation est une marne bigarrée de rouge lie de vin et de gris verdâtre ou bleuâtre, qui se désagrége en petits fragments polyédriques et ne présente aucune disposition schisteuse.

Digitized by Google

Cette marne alterne avec des marnes vertes, des argiles schisteuses noirâtres, des grès à grains fins et terreux, rouges amarantes ou gris bleuâtres, avec des calcaires magnésifères et même des dolomies compactes ou celluleuses.

Les couches et masses de sel qui s'y rencontrent souvent sont rarement pures, elles sont ordinairement mélangées d'argile grise ou rouge. La saveur de l'argile, les sources salées que l'on en voit sortir, sont des indices de la présence fréquente du sel. Le gypse terreux et diversement coloré par les argiles, ou blanc, strié, cristallin et passant à l'anhydrite, se trouve aussi dans les marnes irisées en bancs, en veines et même en amas, sans être accompagné du sel, dont cependant sa présence est très-souvent un indice.

Les débris organiques sont rares dans cette formation : on y rencontre accidentellement des couches de grès et d'argile schisteuse, avec des empreintes végétales et même des couches de carbone à l'état de lignite ou de houille maigre, qui donnent lieu à quelques exploitations. Dans les couches calcaires intercalées, on trouve quelquefois des débris de coquilles, analogues à celles du muschelkalk, notamment des térébratules et des plagiostomes.

Les marnes irisées forment autour de l'angle sud-ouest des Vosges une ceinture de collines parallèles à celles du muschelkalk et du grès bigarré. Ces collines, quelquefois couronnées par un grès qui appartient à la formation inférieure du terrain jurassique, présentent la formation des marnes irisées dans toute son épaisseur. Des marnes feuilletées d'un gris jaunâtre, verdâtre ou noirâtre, forment la partie inférieure des marnes irisées ou la partie supérieure du muschelkalk. On rencontre ensuite des couches un peu contournées de marnes très-argileuses, à peine effervescentes, d'un gris bleuâtre ou d'un rouge lie de vin, qui se délitent en petits fragments anguleux. On trouve dans ces marnes des rognons de gypse blanc, gris ou rose, compacte ou saccharoïde, des veines et de petits filons de gypse blanc, fibreux; on y trouve aussi de pe-

tites plaques de grès silicéo-ferrugineux, qui, lorsque les marnes ont été délayées et emportées par les eaux, restent à la surface du sol, qui en est souvent jonché. Au-dessus de ces marnes, existe une couche de calcaire magnésifère compacte, grisâtre ou jaunâtre, sans fossiles, à cassure esquilleuse, qui a ordinairement 2 ou 3 mètres de puissance; elle est placée à peu près au milieu de la formation, et, comme elle conserve presque toujours cette position et ses caractères minéralogiques, elle présente dans toute la contrée un horizon géognostique très-commode pour étudier les détails de la formation. Au-dessus de ce calcaire magnésifère, compacte et esquilleux, les marnes irisées, bleuâtres ou rougeâtres, non schistoïdes, reparaissent avec leurs mêmes caractères; elles contiennent en outre de petites couches de calcaires argileux. La partie supérieure de ces nouvelles marnes est composée de marnes vertes, qui renferment des couches subordonnées de grès quartzeux, et ces alternances arénacées conduisent au grès *Quadersandstein*, qui forme la partie inférieure du lias.

En un grand nombre de points on trouve un peu au-dessous de l'assise calcaire qui subdivise les marnes irisées en deux parties des marnes noires schisteuses, accompagnées d'un grès dur, micacé, bigarré de rouge et de bleuâtre. Ces schistes noirs renferment souvent une petite couche de houille exploitée à Noroy, à sept lieues nord-nord-est de Bourbonne-les-Bains, et sur quelques autres points.

Les marnes irisées contiennent du gypse dans presque toutes leurs positions; quant au sel gemme, il acquiert un très-grand développement dans la vallée de la Seille, où se trouvent les célèbres gîtes de Dieuze et de Vic. La Seille et ses affluents, depuis sa source jusqu'à Pétoncourt, coulent dans les marnes irisées, et c'est au-dessous des couches calcaires et des couches de grès quelquefois charboneux, qui partagent la formation en deux étages, que l'on a découvert en 1819 les grandes masses de sel qui caractérisent cette formation dans presque tout l'est de la France.

La vallée de la Seille, dans la partie qui traverse l'arrondissement de Château-Salins, a été explorée sur une longueur de 25000 mètres environ, depuis les environs de Dieuze jusqu'à Pétoncourt au delà de Vic. Suivant cette zone, dirigée à peu près est-ouest, huit puits et dix sondages ont rencontré les couches de sel au nombre de treize au maximum, dont l'ensemble représente à Dieuze une épaisseur totale de 68 mètres. Le terrain salifère s'annonce, à la partie supérieure, par la présence du gypse que l'on trouve soit en petits lits stratifiés, soit en séries de nodules mamelonnés, soit en veines déliées qui pénètrent les marnes en tous sens. Ces gypses sont fibreux, compactes et cristallisés, souvent mélangés de nodules d'anhydrite. Un indice plus rapproché est l'argile ou plutôt la marne grise ou bleuâtre, salée, souvent pénétrée de sel rouge fibreux et de polyalithe, qu'on appelle *salzthon*. Le salzthon paraît contenir d'autant moins de parties effervescentes qu'il est plus près du sel : il renferme une plus grande proportion d'anhydrite que de gypse.

Le sel gemme le plus ordinaire est d'un gris sale ou verdâtre, par suite de son mélange avec le salzthon ; vient ensuite le sel rouge, puis le sel blanc, qui ne représente guère qu'un sixième de la masse totale. Toutes ces variétés sont clivables ; mais les plans de clivage ont peu de continuité, ils s'entrecroisent dans tous les sens, et présentent tous les caractères d'une cristallisation rapide et confuse. Les modifications de pureté et de coloration sont d'ailleurs très-souvent séparées, suivant le sens de stratification, par des filets d'argile, de telle sorte que le sel est évidemment stratifié en couches régulières.

M. le Vallois, qui a dirigé comme ingénieur les travaux souterrains de Vic et de Dieuze, ne paraît pas douter de la correspondance des couches de sel entre ces deux points, éloignés pourtant de plus de 15000 mètres. Sans doute, l'identité d'épaisseur ne s'est pas maintenue avec exactitude (ce qui a lieu même lorsque les puits ne sont séparés que par 2 ou 3000 mètres); mais l'identité s'observe jusque dans les détails mi-

néralogiques des couches. A Dieuze comme à Vic, les premières couches, et surtout la troisième, sont caractérisées par la présence des nodules de polyalithe. Enfin, sous le rapport des épaisseurs, il est remarquable de voir la troisième couche, identique par les caractères minéralogiques, primer, dans les deux cas, par sa puissance. Voici les coupes comparatives des puits de Vic et de Dieuze.

	DIEUZE.	VIC.
	m.	m.
Profondeur jusqu'au sel.	33,10	67,60
Sel. 1re couche.	3,60	2,90
Salzthon.	0,80	1,50
Sel. 2e couche.	3,60	2,60
Salzthon.	0,20	0,70
Sel. 3e couche.	13	14,20
Salzthon.	2,30	1,30
Sel. 4e couche.	2	3,10
Salzthon.	4,10	0,80
Sel. 5e couche.	1	3.20
Salzthon.	1.20	0,40
Sel. 6e couche.	0,50	10,90
Salzthon.	3,70	2,40
Sel. 7e couche.	2,50	2,10
Salzthon.	4,30	3,30
Sel. 8e couche.	3,10	1
Salzthon.	3,50	5,80
Sel. 9e couche.	4,60	2,10
Salzthon.	2,60	4,40
Sel. 10e couche.	9,70	3
Salzthon.	0,20	3,20
Sel. 11e couche.	5,40	3,30
Salzthon.	5,10	2,70
Sel. 12e couche.	6,20	14,50

Il est à remarquer qu'à Vic, l'épaisseur du terrain salifère, à partir de la première couche, étant de 98m,70, l'épaisseur totale du sel est de 65 mètres, celle des argiles attenantes n'étant que de 33m,70. A Dieuze l'épaisseur totale des 12 couches de sel est de 64m,30, c'est-à-dire sensiblement identique à l'épaisseur totale des 12 couches connues à Vic. On connait, en outre, une treizième couche de 3m,10 séparée de la douzième par 3m,40 de salzthon.

Les couches de sel découvertes sur une longueur est-ouest de 25000 mètres environ, depuis le puits de Pétoncourt jusqu'au dernier puits de Dieuze, n'existent pas seulement dans cette direction. On les a retrouvées vers Abondange, à 10000 mètres, au nord de cette ligne, après avoir traversé 120 mètres de marnes stériles: elles y présentaient les mêmes caractères. On

Digitized by Google

les a également découvertes à Rozières-aux-Salines, situé à 20000 mètres sud-ouest de Vic.

Les marnes irisées de la vallée de la Seille forment une espèce de golfe dans le muschelkalk, et c'est dans l'intérieur de ce golfe que le sel gemme a acquis le développement considérable dont on ne connaît pas encore la limite inférieure. Ce gîte forme donc, comme certains gîtes houillers, un bassin subordonné au bassin principal. Quant aux faits géologiques qui peuvent avoir accumulé en ce point une si grande quantité de sel, ils restent inexpliqués. Une observation doit seulement être consignée : c'est que, parmi les diverses variétés de sel gemme, aucune ne contient d'iode.

La propriété salifère des marnes irisées ne se borne pas à la vallée de la Seille ; partout où cette formation affleure, dans les régions de l'est, entre les Vosges et le Jura, des sources salées et l'abondance du gypse annoncent que cette propriété est conservée, sinon au même degré, du moins d'une manière suffisante pour être productive.

Dans les recherches de cette nature, l'analogie avec les terrains explorés de Dieuze, les couches gypseuses exploitées en un grand nombre de points, enfin les sources salées, peuvent fournir de précieuses indications. La partie salifère de la formation est partout inférieure à la couche de combustible située dans les marnes irisées et exploitées à Gemonval, Gouhenans, Corcelles, Grozon, etc. Divers sondages entrepris avec ces données, et dans les localités où existaient des sources salées, ont rencontré le sel gemme. Ces gîtes n'ont pourtant ni la puissance ni la régularité de stratification de ceux du district de Dieuze ; on pense qu'ils forment des amas plutôt que des couches, à cause du peu de concordance que présentent les sondages les plus rapprochés.

Des obstacles difficiles à surmonter rendent d'ailleurs très-dispendieux le foncement des puits dans les marnes irisées. Ces obstacles résultent des niveaux ou courants d'eau souterrains qui y circulent, et, comme le salzthon n'est pas complétement

Digitized by Google

imperméable, les eaux font irruption dans les travaux, si on ne les surveille de très-près, et si on ne les contient par des serrements aussitôt qu'elles se montrent. Ces difficultés ont entravé les recherches de sel gemme, et conduisent à exploiter de préférence les sources salées.

Les marnes irisées présentent autour de la forêt Noire une identité frappante avec celles de la Lorraine et de l'Alsace; elles sont visibles depuis Luxembourg jusque vers les limites du Jura, sur une ligne d'affleurements qui a plus de 75 lieues. Dans la Souabe, ce sont des marnes bigarrées de rouge, gris, bleuâtre, verdâtre et jaunâtre, qui, dans leurs parties supérieures, passent à des grès micacés, d'abord bigarrés, puis tendant à devenir blancs, homogènes, et conduisent ainsi au grès du lias. Dans leur partie inférieure, les marnes irisées de la Souabe contiennent des amas de gypse grenu, saccharoïde ou fibreux, quelquefois pur, le plus souvent mélangé d'argile.

La lisière nord-ouest du Jura, depuis Vallenbourg, dans le canton de Bâle, jusqu'à Villebois, sur le Rhône, au-dessus de Lyon, présente en un grand nombre de points les marnes irisées telles qu'elles se montrent autour des Vosges. On y retrouve au milieu de la formation le calcaire magnésifère, compacte, esquilleux. Le gypse y est très-répandu, et les nombreuses sources salées, exploitées aux environs de Salins, sont dues très-probablement à des amas sous-jacents de sel gemme, analogues à ceux de Vic et de Dieuze.

A Northwich, près Liverpool, dans le Cheshire, le terrain salifère est composé d'alternances de marnes bariolées, grises, rouges et vertes, analogues à celles de la Lorraine, et se trouve placé au-dessus des couches du New-red-Sandstone, qui correspond à nos grès bigarrés.

Vingt-deux mines sont disséminées sur une surface d'environ 8 kilomètres de diamètre, et, dans toutes ces mines, les couches se correspondent assez exactement. Le terrain est traversé sur plus de 100 mètres d'épaisseur, et l'on y connaît deux couches de sel : la première de 20 mètres de puissance, et la seconde de

près de 30 mètres; c'est en tout une puissance de 50 mètres. Celle des couches réunies de Vic et de Dieuze dépasse 60 mètres, mais elle est disséminée en 12 couches, ce qui est moins favorable aux travaux d'exploitation. Voici la coupe que présente une des mines de Northwich.

	Mètres.		Mètres.
Calcaire marneux	5	Argile sableuse et gypseuse très-aquifère	4 30
Argile rouge endurcie	3 50	Marne argileuse	1 60
Marne argileuse rouge, micacée	0 60	Marnes bleues gypseuses	8 30
Marne rouge avec gypse fibreux	2 60	1re couche de sel	22
Argile avec gypse	5	Salzthon, brun et rouge	10
Marne argileuse micacée	1 30	2e couche de sel	30
Argile avec gypse	2 30		
Salzthon	5		

Les terrains salifères de la France et de l'Angleterre sont complétement dépourvus de fossiles. Il semble donc que les conditions de développement du sel dans ces terrains ont été telles, qu'elles excluaient celui des êtres organiques.

TERRAIN JURASSIQUE.

Le terrain jurassique est parmi les terrains secondaires celui qui joue le rôle le plus essentiel dans le relief du sol de la France. Les contours de ses affleurements y dessinent les principaux bassins géologiques.

Au nord, ces affleurements tracent une vaste ellipse occupée par les dépôts crétacés et tertiaires, et dont Paris et Londres marquent les foyers. Cette enceinte, mouvementée par de nombreuses collines calcaires, se lie, vers le sud-est, aux montagnes du Jura, qui ont donné leur nom à l'ensemble du terrain; vers le sud-ouest, elle forme le littoral du bassin crétacé et tertiaire de la Gironde, et se contourne autour des saillies culminantes du plateau central.

Le terrain jurassique est formé de roches calcaires, d'argiles, de marnes, de dépôts arénacés siliceux, dont l'ensemble peut

Digitized by Google

atteindre une puissance de 500 mètres, et qui paraît même sur quelques points dépasser 1000 mètres. Son extension et sa puissance ne sont pas les seules considérations qui le placent parmi les terrains les plus importants : c'est encore celui qui est le plus subdivisé, celui qui présente les variations minéralogiques et zoologiques les plus nombreuses, et qui a donné lieu aux études les plus détaillées.

Cette instabilité des caractères du terrain jurassique paraît quelquefois résulter d'altérations postérieures qu'il aurait éprouvées par suite des révolutions du globe; elle n'est d'ailleurs très-sensible que lorsque l'on compare des terrains très-éloignés. Ainsi toute cette vaste ceinture jurassique qui entoure le bassin de Londres et de Paris, et se prolonge dans le Jura, présente des caractères assez constants ; les modifications ne s'y produisent que graduellement, et c'est seulement lorsqu'on poursuit ce terrain jusque vers les pentes des Alpes que les caractères ordinaires sont effacés par un métamorphisme qui semble avoir transformé toutes les roches.

Formation du Lias. — La formation du lias, qui forme la base du terrain jurassique, est composée d'alternances argileuses, calcaires et arénacées siliceuses, qui forment ordinairement trois étages distincts. Les *grès inférieurs*, le *calcaire lias* ou calcaire à gryphées, et les *marnes* du lias.

L'étage arénacé inférieur est celui dont le développement est le moins régulier. On le rencontre en un grand nombre de points, autour des terrains préexistants qui entourent le massif des Vosges. Il y est ordinairement représenté par un grès quartzeux, blanc ou jaunâtre, contenant quelquefois des rognons argileux et des silex roulés. Ce grès, souvent solide, sert comme pierre de construction, ce qui lui a fait appliquer en Allemagne le nom de *quadersandstein*. En vertu de leur solidité, ils forment quelquefois des masses saillantes et des rochers escarpés, et l'on a profité de cette disposition à Luxembourg, qui est peut-être le point où il atteint le plus grand développement, pour construire une citadelle remarquable.

Digitized by Google

La partie inférieure du lias est représentée dans certaines parties du sud-ouest et du sud-est de la France par des marnes ou des calcaires marneux, et par des grès feldspathiques, désignés sous le nom d'arkoses. Les arkoses existent surtout dans les contrées où la formation repose immédiatement sur le granite. Ces roches arénacées, siliceuses et feldspathiques, sont souvent séparées du calcaire à gryphées par un développement de marnes noirâtres, schisteuses, contenant des noyaux calcaires; lorsqu'elles viennent à manquer, les marnes forment la partie inférieure du lias, ce qui arrive dans presque toute l'Angleterre.

Les calcaires du lias, compactes et pétris de gryphées, dominent dans la partie moyenne de la formation; ils se soutiennent d'une manière constante dans toute la zone qui entoure le bassin jurassique de la France et de l'Angleterre. Les calcaires inférieurs sont blancs jaunâtres, tandis que la plus grande partie présente une teinte bleuâtre, *blue lias;* ils reposent sur les marnes noires, schisteuses, à rognons calcaires, qui remplacent souvent le grès, ou du moins qui correspondent aux marnes et aux lumachelles, signalées comme existant entre les grès ou arkoses et le calcaire à gryphées.

Dans certaines parties de la France centrale, au-dessus du système d'arkoses, de grès et de marnes qui appartiennent à l'étage inférieur du lias, le calcaire à gryphées est représenté par des calcaires bleus noirâtres, durs, abondants en fossiles, et par des calcaires blancs, un peu marneux, quelquefois très-ferrugineux. Aux environs d'Alais et d'Aubenas, ces calcaires sont gris ou noirs, compactes, et contiennent beaucoup d'entroques.

L'étage supérieur et marneux du lias est le plus constant et le plus puissant, lorsque les roches arénacées de la partie inférieure n'ont pas pris un grand développement; il y a cependant des exceptions, et cet étage est, comme les autres, susceptible de manquer. Il est presque entièrement formé de marnes, dont la puissance peut dépasser 100 mètres. Ces marnes sont brunes,

Digitized by Google

grises, bleuâtres, plus ou moins argileuses, quelquefois sableuses, souvent schistoïdes, et empâtant des nodules stratifiés de calcaires analogues aux calcaires à gryphées. Lorsque ces nodules sont très-abondants, ils se réunissent et finissent par former de petites couches.

En beaucoup de points les marnes du lias sont noires, bitumineuses et fétides; elles se chargent de carbone, et passent accidentellement à des argiles schisteuses analogues à celles du terrain houiller qui peuvent contenir de petites couches combustibles; tels sont probablement les combustibles exploités dans les arrondissements de Mende et de Milhau.

Les couches calcaires peuvent atteindre, dans cet étage, un développement assez considérable, bien qu'elles soient presque toujours moins puissantes que les marnes: elles sont généralement caractérisées par l'abondance des bélemnites.

Ces caractères de la formation du lias se soutiennent assez généralement dans le Jura français et helvétique, dans le Hanovre, la Bavière septentrionale, la Westphalie, le Wurtemberg, etc.

Formations oolitiques. — Lorsqu'on traverse perpendiculairement à leur direction les zones du terrain jurassique qui forment une enceinte presque continue autour du bassin de Paris et du plateau central, on trouve au-dessus du lias des épaisseurs considérables de calcaires compactes alternant avec des roches argileuses. Ces alternances se répètent ordinairement trois fois, de telle sorte que les formations oolitiques comprennent trois étages argileux surmontés de trois étages calcaires, ainsi que cela est indiqué dans le tableau géognostique des terrains secondaires.

C'est en Angleterre que les formations oolitiques ont été le plus étudiées; elles s'y présentent en effet avec un détail qu'elles n'ont en aucune autre contrée, pas même dans celles où elles sont plus puissantes. Il en résulte que, lorsqu'on parcourt un terrain jurassique, c'est toujours aux couches reconnues en Angleterre que l'on cherche à rapporter celles que l'on a sous les

yeux, et qu'on applique souvent les noms anglais aux assises qui, sur le continent, occupent la même position géognostique, noms qui sont en partie tirés des contrées où les couches se montrent au jour.

La formation oolitique inférieure, la plus compliquée des trois, ne consiste pas simplement en une assise argileuse, surmontée par une assise calcaire; les calcaires et les marnes alternent plusieurs fois de manière à subdiviser cet étage en six assises, qui sont, à partir du lias : 1° les sables de l'oolite, couronnés par les calcaires dits de l'oolite inférieure (*inferior oolite*). 2° une assise argileuse, qui a pris le nom de terre à foulon (*fullers' earth*), à cause d'une petite couche de cette argile, qui existe souvent dans la partie moyenne; 3° une assise de calcaire ordinairement oolitique, appelée grande oolite (*great oolite*), ou oolite de *Bath;* 4° une assise argileuse (*Bradford clay*); 5° une assise calcaire, mélangée de sables et d'argiles, désignée sous le nom de *forest-marble;* 6° enfin, un calcaire en partie marneux (*corn-brash*).

Les sables de l'oolite inférieure ont une puissance moyenne de 30 mètres; ils sont fins, jaunes, micacés, siliceux; quelquefois imprégnés de calcaires marneux verdâtres et contenant des concrétions de chaux carbonatée. Les calcaires qui les couronnent n'ont guère que 5 mètres d'épaisseur : dans la partie inférieure, ce sont des calcaires bruns, durs et tenaces, avec des grains de fer hydroxydé; dans la partie supérieure, ils sont jaunâtres, noduleux, et contiennent des débris de coraux.

La terre à foulon est une assise composée d'argiles jaunes, bleues ou blanches et de calcaires argileux; sa puissance peut dépasser 40 mètres. Elle commence ordinairement par une puissante couche d'argile, qui renferme souvent du calcaire noduleux, semblable à celui de l'assise précédente, ces nodules se réunissant quelquefois de manière à former de petites couches solides. L'argile exploitée, et particulièrement désignée sous le nom de *terre à foulon*, se trouve au-dessus de celle qui contient des nodules calcaires; elle n'a pas un mètre de puissance et

repose ordinairement sur une couche plus marneuse. L'assise est terminée par des argiles blanches, qui sont recouvertes par la grande oolite.

La grande oolite est une assise calcaire dont la puissance varie de 15 à 40 mètres: elle se compose de différentes variétés : les unes oolitiques, solides et constituant d'excellentes pierres de taille; les autres présentant une texture grossière et contenant un grand nombre de coquilles (trigonies, peignes, avicules, térébratules, etc.). Quelques assises présentent des bancs schisteux exploités comme dalles.

L'argile de Bradford est une argile marneuse, ordinairement bleuâtre, dont l'épaisseur varie de 10 à 15 mètres. Elle abonde souvent en encrines.

L'assise du forest-marble n'a pas plus de 15 mètres, elle est ordinairement divisée en couches très-minces de sables argileux et de calcaires. Ainsi l'on trouve, à partir de l'argile de Bradford, de petites couches de sables et d'argiles sablonneuses; un calcaire très-coquillier, exploité comme marbre (*forest-marble*), et une assise de sables et de grès qui passent à des argiles sablonneuses contenant, soit dans le sens de la stratification, soit sous forme de veines, des bandes de grès et de calcaire.

Le corn-brash couronne ordinairement ce premier étage oolitique; c'est une assise de 8 à 10 mètres d'épaisseur, composée de calcaires grossiers, ordinairement en couches multipliées et même schistoïdes.

La formation oolitique moyenne est d'une composition beaucoup plus simple; elle commence au-dessus du corn-brash par une puissante assise argileuse, connue sous le nom d'argile d'Oxford (*Oxford-clay*), recouverte par des sables et grès calcaires (*calcareous grit*), qui passent à l'assise calcaire supérieure, appelée *coral-rag*.

L'argile d'Oxford est une assise puissante, composée d'argile bleue, tenace, qui atteint jusqu'à 180 mètres d'épaisseur, et qui contient des lits plus ou moins marneux, ainsi que des masses

aplaties de calcaire; on y trouve aussi des strates de schistes bitumineux. Cette assise est caractérisée par la gryphée dilatée. Dans sa partie inférieure elle contient en couches subordonnées des calcaires irrégulièrement stratifiés, désignés sous le nom de *roches de Kelloway*.

Le coral-rag, assise d'une épaisseur totale de 45 à 50 mètres, commence par des sables incohérents ou agglutinés par un ciment calcaire : ces sables et grès (*calcareous grit*) sont recouverts par une couche de calcaire souvent terreux, qui abonde en coraux et qui a donné son nom à l'assise. Au-dessus, viennent des couches de calcaires jaunes, solides, oolitiques, exploitées comme pierre de taille et désignées sous le nom d'*oolite d'Oxford*.

La formation oolitique supérieure présente une disposition tout à fait analogue à celle de l'étage moyen. Elle commence par un dépôt argileux, l'argile de Kimmeridge (*Kimmeridge-clay*), laquelle est couronnée par des sables siliceux et calcaires et par l'assise calcaire supérieure, dite oolite de Portland (*Portland-stone*).

L'argile de Kimmeridge est un dépôt argilo-calcaire de 150 mètres de puissance, dont la roche dominante est une argile bleue ou jaunâtre, schisteuse et passant quelquefois à des schistes foncés, bitumineux. Cette argile, caractérisée par l'huitre deltoïde, contient souvent des cristaux de chaux sulfatée. Du reste, elle est plus variable dans ses caractères et divisée en un plus grand nombre de couches que l'argile d'Oxford.

L'oolite de Portland, série d'alternances calcaires de 35 mètres, termine à la fois cet étage et la formation oolitique. Ces calcaires sont de dureté variable, grossiers, grenus, compactes, oolitiques; ils contiennent quelquefois des rognons de silex, et souvent passent à des sables silicéo-calcaires, qui renferment de la chaux carbonatée concrétionnée.

Tels sont les caractères de formations oolitiques dans toute la partie sud-est de l'Angleterre. On peut actuellement imaginer toutes les variations qui peuvent résulter de la suppres-

Digitized by Google

sion de telle couche, du développement de telle autre, et en trouver des exemples; mais, toutes les fois que l'on examine le terrain sur une étendue suffisante, on reconnait aisément les subdivisions principales que nous venons d'énumérer, depuis les marnes inférieures du lias jusqu'aux calcaires de l'oolite supérieure.

Ces caractères du terrain jurassique se conservent dans toute la zone qui enclave les bassins de Paris et Londres avec une uniformité d'autant plus remarquable que les subdivisions sont plus compliquées. Il y a donc lieu de regarder cet espace comme une vaste dépression dans laquelle il s'est déposé, de sorte qu'il doit exister sur tous les points intérieurs où il est caché par des dépôts plus récents. Cette uniformité n'existe plus dès que l'on s'éloigne de ce bassin : en Allemagne, en Pologne, dans les Pyrénées, dans les Alpes, les caractères sont très-modifiés; plus près, à la Rochelle et dans certaines parties du Jura, on peut bien reconnaître les subdivisions en deux formations et en trois étages oolitiques, mais rien au delà.

La continuité souterraine du terrain jurassique dans le centre du bassin parisien ressort d'ailleurs de deux faits géognostiques importants : en deux points le sol a postérieurement été soulevé, dans le bas Boulonnais et dans le pays de Bray; or, en ces deux points, le terrain jurassique a été amené au jour.

Dans le bas Boulonnais les trois étages oolitiques ont été reconnus. L'étage inférieur est exploité autour de Marquise; les couches en sont très-bien réglées et principalement composées de calcaires; les calcaires de la base sont ferrugineux, sablonneux, et alternent quelquefois avec des marnes grises et bleues; ceux de la partie supérieure, exploités sous le nom de pierre blanche, sont oolitiques, tendres, souvent fissurés, et contiennent des veines de marnes, du calcaire cristallin. L'étage moyen se subdivise en deux assises principales; la première est composée de marnes bleues et jaunâtres et de calcaires marneux, elle a 3 ou 4 mètres d'épaisseur; celle qui la recouvre a 6 à 8 mètres et comprend des calcaires marneux et oolitiques, quelquefois très-

peu agrégés, passant à un calcaire siliceux, souvent divisible en plaques minces.

Les falaises depuis Equihen jusqu'à Wissant présentent le développement de l'étage oolitique supérieur : cet étage, dont la puissance atteint jusqu'à 50 mètres, commence par un développement marneux très-considérable. Ce sont des marnes et des calcaires marneux ou siliceux qui passent à des grès calcaires contenant des bancs de lumachelles jaunâtres subordonnés. Cet étage renferme des lignites fibreux et des bois pétrifiés à l'état calcaire ou pyriteux; dans sa partie supérieure les grès et les sables ferrugineux prennent le dessus.

Le pays de Bray forme une gibbosité ellipsoïdale, qui, d'après les inclinaisons de 15 à 25 degrés qu'on y a constatées, résulte évidemment d'un soulèvement qui a relevé à la fois le terrain jurassique et le terrain crétacé. Cette région, ainsi que celle des Wealds, en Angleterre, devaient former, au-dessus de la mer tertiaire, deux îles de forme analogue et suivant une même direction; seulement les couches crétacées ont subi une rupture et une dénudation dans le pays de Bray, de sorte que les premières couches jurassiques ont été mises à découvert; circonstances qui n'ont pas eu lieu dans les Wealds. Les mamelons centraux du pays de Bray sont composés de calcaire lumachelle, accompagné de marnes à gryphées virgules, qui recouvrent un calcaire compacte. Le calcaire lumachelle est exploité à Hécourt, près Gournay, et dessous des couches glauconieuses du grès vert on trouve les marnes bleuâtres à gryphées virgules, recouvertes par des calcaires jaunes ou bleuâtres. Les marnes ont été rapportées à l'argile de Kimmeridge.

En Normandie et notamment dans le Calvados, au-dessus des calcaires à bélemnites et à gryphées qui se rapportent au lias, on trouve un calcaire oolitique sablonneux, ferrugineux, très-coquillier, dont les grains oolitiques deviennent quelquefois tellement gros, que la roche prend un aspect poudingiforme. Ces couches appartiennent à l'oolite inférieure. La terre à foulon est représentée par des alternances argilo-calcaires qui se montrent

sur les côtes occidentales, et sont recouvertes par de puissantes couches de calcaire coquillier grossier ou oolitique; de telle sorte que, si l'on ne peut reconnaître toutes les subdivisions anglaises, on retrouve du moins dans cet étage inférieur les principales subdivisions marneuses et calcaires. Le calcaire est désigné sous le nom de calcaire de Caen, lui-même subdivisé en calcaire de Caen proprement dit et calcaire à polypiers. Le calcaire de Caen fournit d'excellentes pierres de taille, exportées dans tous les environs et même en Angleterre; il est jaunâtre, grossier, consistant, et contient en quelques points des rognons ou des plaques de grès silicéo-calcaire. Le calcaire à polypiers est pétri de débris de polypiers et de coquilles, grossier ou oolitique, quelquefois argileux et schistoïde, d'autres fois très-compacte et très-dur. Au-dessus de ces calcaires on en trouve d'autres que l'on a rapportés au corn-brash : ce sont des oolites à grains fins, d'un blanc jaunâtre, alternant avec des calcaires compactes et divisibles en dalles.

L'étage moyen est représenté en Normandie par l'argile de Dives, dont les caractères sont à peu près les mêmes que ceux de l'argile d'Oxford : c'est une argile bleue, tenace, séparée en plusieurs couches par des marnes quelquefois sableuses, contenant souvent des nodules calcaires et des cristaux de sélénite ; elle est couronnée par des oolites à gros grains, qui passent soit au calcaire compacte siliceux, soit au calcaire grossier coquillier avec bancs de polypiers. Dans leur partie supérieure ces calcaires deviennent marneux ou sablonneux et passent soit à des couches de sables, soit à des marnes compactes et des argiles bleuâtres, dites argiles d'Honfleur, qui représentent l'assise inférieure de l'étage oolitique supérieur. La troisième assise calcaire n'existe pas dans cette contrée.

Les terrains jurassiques du bas Boulonnais, du Calvados et de la Normandie, les affleurements qui se montrent au pied du cap de la Hève et ceux du pays de Bray, servent en quelque sorte d'introduction aux gisements intérieurs de la France,

Digitized by Google

qui sont beaucoup plus développés : ces gisements intérieurs peuvent se partager en plusieurs groupes géographiques, dont le plus remarquable est celui qui forme l'encaissement méridional du grand bassin géologique de Paris. Les trois étages oolitiques, et souvent le lias, forment des zones circulaires et concentriques qui entourent ce bassin, et qui sont remarquables en ce que les trois parties argileuses occasionnent des dépressions en vertu de la facilité de leur destruction, tandis que les parties calcaires donnent lieu à des falaises qui sillonnent les plateaux suivant la direction générale du terrain. Pour sortir du bassin, on doit ainsi traverser plusieurs séries de plateaux, terminés par des falaises calcaires.

Dans les départements du nord-est et du centre on voit commencer une grande falaise oolitique qui traverse successivement les départements des Ardennes, de la Meuse, de la Haute-Marne, de la Côte-d'Or, de l'Yonne, de la Nièvre et du Cher. La base de cette falaise est généralement formée de couches argileuses, caractérisées par la gryphée dilatée, par des bélemnites, des encrines, serpules, etc. Ces couches représentent l'argile d'Oxford et sont couronnées par des calcaires à polypiers qui représentent le coral-rag.

Cette série de coteaux, qui se rattachent à ceux du nord de la France, forme un horizon géognostique qui peut guider le géologue. Les caractères des marnes inférieures sont quelquefois difficiles à reconnaître, mais ceux du coral-rag sont plus constants. Ainsi, lorsqu'on va de Flogny à Ancy-le-Franc, on voit sortir de dessous les dernières couches du système crétacé, et ensuite les unes de dessous les autres, les assises suivantes : 1° un calcaire compacte blanc, qui correspond par sa position à la pierre de Portland ; 2° un système de calcaire marneux et de marnes grises, caractérisé par la gryphée virgule (Kimmeridge-clay) ; 3° une série très-épaisse de calcaires compactes, à cassure conchoïde, de calcaires à cassure terreuse, et de calcaires oolitiques (Oxford-oolite, coral-rag) ; 4° un système de couches d'un calcaire marneux, grisâtre, à cassure

terreuse (calcareous-grit, Oxford-clay). De dessous cette dernière assise sortent les calcaires très-souvent oolitiques, qui forment le sol des plaines et des plateaux au sud d'Ancy-le-Franc, et qui se rapportent aux diverses assises de l'étage inférieur : ces calcaires ont été coupés par le canal de Bourgogne, vers le point de partage des eaux des bassins de la Seine et de la Saône.

Les tranchées ouvertes pour le passage du chemin de fer de Dijon à Blaisy sont principalement ouvertes dans les calcaires jurassiques, et permettent d'apprécier la prédominance prononcée des calcaires sur les argiles qui existent dans toute cette contrée. Les calcaires de l'oolite inférieure sont surtout développés, et, en approchant de Malain, les couches violemment soulevées s'appuient sur les marnes et les calcaires du lias, puis sur les marnes irisées.

De la ceinture centrale on peut suivre les dépôts jurassiques d'une manière continue, soit en se dirigeant vers le sud-ouest, soit en s'engageant par le sud-est dans les montagnes du Jura. Dans ces deux régions, les formations oolitiques sont subdivisibles en étages analogues par leur composition et leurs fossiles aux étages de l'Angleterre, mais sans que les lignes de séparation soient aussi faciles à distinguer. Les couches correspondantes aux argiles d'Oxford et de Kimmeridge existent rarement, ou du moins sont représentées par des calcaires marneux. Plus au sud, les dépôts jurassiques sont peu developpés ; les étages inférieurs forment des lambeaux sur la pente des Cévennes, du côté du Rhône, et constituent vers le nord du département de l'Hérault un massif qui s'avance jusqu'à la mer près de Cette et de Montpellier ; de l'autre côté du massif de transition les formations oolitiques sont au contraire très-étendues et forment, depuis Cahors jusqu'à l'Océan, une chaîne qui a moyennement cinquante kilomètres de largeur, et qui atteint jusqu'à cent entre les montagnes du Limousin et de la Vendée.

L'étage oolitique inférieur occupe plus de douze lieues sur quinze ou seize que les formations oolitiques recouvrent entre

Digitized by Google

les Sables-d'Olonne et Rochefort. Il repose sur des calcaires et des marnes qui représentent le lias ou sur des argiles micacées avec gryphées et bélemnites qui peuvent être assimilées aux sables de l'oolite inférieure. Des calcaires compactes et sublamellaires, contenant des couches de fer hydroxydé en grains et des oolites blanches, visibles à Mauriac (Aveyron), représentent la grande oolite; vers l'est (environs de Notron, de Poitiers, etc.), ce sont des calcaires compactes, gris, jaunâtres, contenant beaucoup de silex, et assez fréquemment oolitiques. Des couches de calcaire compacte et quelquefois terreux avec ammonites et térébratules paraissent former la partie supérieure de cet étage.

L'étage moyen recouvre entre la Rochelle et Rochefort un espace d'environ deux lieues et demie, espace qui est plus considérable entre Poitiers et Angoulême, et entre Angoulême et Confolens. Il est en grande partie composé de calcaires marneux, avec des oolites irrégulières, superposées à des masses considérables de calcaires à polypiers qui rappellent le coral-rag; les oolites représenteraient celle d'Oxford. Ces deux subdivisions sont les seules que l'on puisse reconnaître.

L'étage supérieur est souvent réduit à quelques couches marneuses, contenant une quantité considérable de gryphées virgules et formant une lumachelle. Cette assise est recouverte en quelques points (Cahors) par des assises puissantes de calcaire compacte marneux, avec petites gryphées, et (depuis Angoulême jusqu'à l'Océan) par des calcaires oolitiques, qui pourraient représenter l'oolite de Portland, tandis que les calcaires marneux sous-jacents, qui renferment quelquefois des lignites, correspondraient à l'argile de Kimmeridge.

Le terrain jurassique est fortement accidenté dans les départements de la Côte-d'Or, de la Haute-Saône et dans les montagnes du Jura, suivant une direction de l'est-40°-nord à l'ouest-40°-sud; les principales cimes du Jura, qui lient ces montagnes au système des Alpes occidentales, suivent, au contraire, une direction du nord-nord-est au sud-sud-ouest, direction qui est parallèle

aux grandes Alpes et qui coupe la première sous un angle très-aigu, de sorte que l'ensemble du Jura forme une courbe légèrement concave du côté de la Suisse.

Dans toute cette vaste contrée jurassique, depuis la Côte-d'Or jusqu'en Suisse, le terrain diffère sensiblement du type central; on peut cependant y retrouver les principales divisions établies en Angleterre.

L'étage *inférieur* y est représenté par quatre assises distinctes : 1° l'*oolite* et les *marnes inférieures* (inferior-oolite et fullers-earth), composés d'abord d'alternances de divers calcaires qui reposent sur les marnes du lias. Ces calcaires sont tantôt compactes, gris de fumée, tantôt sublamellaires, grisâtres, rougeâtres, brunâtres, avec veines de calcaire spathique, quelquefois un peu oolitiques. Ils contiennent des plagiostomes, des peignes, des térébratules, des trigonies, des gryphées, des ammonites, des bélemnites, ainsi que des polypiers qui les rapprochent du calcaire de Caen. 2° La *grande oolite* (great-oolite), composée de calcaires oolitiques miliaires, grisâtres, souvent schisteux. 3° Les *calcaires avec fer oxydé rouge* (forest-marble), puissante assise de calcaires compactes, quelquefois lithographiques, avec fentes et cavités remplies de fer oxydé rouge. 4° Le *troisième calcaire oolitique* (corn-brash), calcaire marneux-compacte, grisâtre ou jaunâtre, avec taches bleuâtres, chargées d'oolites miliaires et de noyaux pisolitiques. Ces derniers calcaires sont moins coquilliers que ceux de l'oolite inférieure.

L'étage *moyen* a été subdivisé en trois assises : 1° le *calcaire argileux moyen* (Kellovay-rock), calcaire argileux d'un gris foncé, schisteux, contenant quelques petites couches de marne argileuse grisâtre. 2° Le *deuxième minerai de fer oolitique*, la *marne moyenne* et le *calcaire gris bleuâtre* (Oxford-clay). Le minerai de fer hydroxydé oolitique, qui est le fait le plus intéressant de cette assise calcaréo-marneuse, se trouve renfermé dans une couche de marne friable, dont la puissance dépasse ordinairement un mètre; il constitue environ le tiers de la masse totale. On l'exploite en un grand nombre de points en

Digitized by Google

le débarrassant de la marne par le lavage. Les calcaires de cette assise sont gris bleuâtre, plus ou moins marneux, sublamellaires, un peu schisteux, parfois tuberculeux ; les marnes sont grises noirâtres, schisteuses, renferment des rognons calcaires, des géodes spathiques, des cristaux de gypse et un assez grand nombre de débris organiques, surtout des ammonites. 3° Les *calcaires à nérinées* et l'*argile à madrépores, avec nodules de calcaire siliceux, dits chailles* (coral-rag). Ces calcaires à nérinées sont grisâtres ou blanchâtres, souvent oolitiques, quelquefois compactes avec veines spathiques; les argiles sont ocreuses, avec nodules et plaques de calcaire siliceux; elles alternent avec des calcaires oolitiques ou marneux, et contiennent des madrépores, des ananchites et des débris d'encrines.

L'étage *supérieur* comprend des *calcaires* et des *marnes à gryphées virgules* (Kimmeridge-clay et Portland-stone). Les marnes sont grisâtres, schisteuses, souvent très-coquillières ; elles alternent avec des calcaires compactes ou marneux, qui finissent par les dominer. Au-dessus se trouvent environ 13 mètres d'argile avec fer oxydé pisiforme, qui ont été quelquefois considérées comme appartenant au terrain alluvien.

Les trois étages oolitiques ainsi subdivisés n'existent pas toujours simultanément sur un même point ; certaines assises diminuent d'épaisseur jusqu'à manquer, tandis que d'autres se développent en quelque sorte à leurs dépens. Ce qui est surtout remarquable dans ce terrain, c'est que les couches calcaires y sont beaucoup plus puissantes que les couches marneuses et argileuses, c'est-à-dire que l'argile et le calcaire sont dans des rapports inverses de ceux qu'ils ont en Angleterre. Les bouleversements subis par la stratification rendent cette prédominance des calcaires encore plus sensible, parce qu'ils forment les sommités les plus apparentes et les escarpements qui encaissent les vallées.

Ces caractères se continuent dans toute la partie suisse du

Digitized by Google

Jura, et notamment dans les cantons de Bâle, de Soleure, d'Argovie et de Neufchâtel. Des calcaires oolitiques y forment les premières assises et sont séparés par des marnes (probablement la terre à foulon), des oolites miliaires, des calcaires roux, sableux, ferrugineux et marneux, et des lumachelles en dalles, à reflet nacré, qui représentent les autres assises de l'étage inférieur. Des marnes bleues avec fossiles pyriteux, des calcaires compactes en partie marneux et avec chailles, constituent l'étage moyen avec un grand développement de calcaires à polypiers, de calcaires oolitiques pisaires et de calcaires blancs compactes, quelquefois crayeux, à nérinées; enfin des marnes jaunâtres avec bancs calcaires subordonnés, surmontées par une puissante assise de calcaires compactes et finement oolitiques, représentent l'étage supérieur.

TERRAIN CRÉTACÉ.

Le terrain crétacé est d'un développement encore plus général en Europe que le terrain jurassique; il ne couvre en France que 6,250,000 hectares, soit 0,12 de sa superficie totale; mais, dans le nord de l'Europe, il acquiert des proportions encore plus considérables : la Gallicie, la Podolie, les Carpathes, la Crimée, le littoral de la Méditerranée, l'Algérie, ont été couverts par les dépôts de cette période.

Dans cette immense étendue, le terrain crétacé présente de grandes variations minéralogiques qui ont d'abord conduit à le diviser en deux formations distinctes : la formation *inférieure* ou du *grès vert*, et la formation *supérieure* ou *crayeuse*.

La formation inférieure est caractérisée par des dépôts arénacés qui alternent en grande proportion avec les roches calcaires. Les roches arénacées abondent en grains chloriteux qui leur donnent souvent une couleur verte caractéristique. Dans la formation supérieure dominent, au contraire, les calcaires crayeux. Les deux formations contiennent un grand

Digitized by Google

nombre de corps organisés, végétaux et animaux, parmi lesquels il y en a qui n'ont pas encore été trouvés dans les formations précédentes, et plus encore qui ne reparaissent plus dans les suivantes (ammonites, bélemnites, gryphées, hippurites, etc.).

En France, et généralement dans toute la partie nord de l'Europe, les couches chloritées inférieures se rapprochent progressivement de la craie proprement dite qui forme les assises supérieures de manière à présenter la succession de quatre étages : 1° la *craie glauconieuse* ou *chloritée;* 2° la *craie tuffau;* 3° la *craie marneuse;* 4° la *craie blanche* : étages qui se subdivisent eux-mêmes en plusieurs assises.

Le terrain crétacé a été encore plus subdivisé en Angleterre; ses affleurements y forment une zone qui encaisse la partie septentrionale du grand bassin tertiaire, et les contours de ces affleurements suivent, comme en France, les sinuosités principales de ceux du terrain jurassique.

La puissance moyenne de ce terrain, d'après les épaisseurs constatées en plusieurs points, est d'environ 600 mètres; elle peut être plus grande, elle peut être moindre, suivant que chacune des assises constituantes prend un développement plus ou moins considérable. Les assises inférieures sont les plus variées, surtout en Angleterre, car on a rarement pu trouver sur le continent des équivalents à toutes les subdivisions établies qui sont :

Formation crayeuse.	Craie supérieure avec silex.	
	Craie inférieure sans silex.	
Formation du grès vert.	Grès vert. . . .	Grès vert supérieur.
		Marne bleue (gault).
		Grès vert inférieur.
	Étage wealdien.	Argile wealdienne (weald-clay).
		Grès ferrugineux (iron-sand).
		Calcaire de Purbeck.

On voit que la formation du grès vert se subdivise en deux étages. L'étage wealdien, ainsi nommé du canton des Wealds,

Digitized by Google

dans le comté de Sussex, où il a été principalement étudié, peut être considéré comme représenté sur le continent par des calcaires et des roches arénacées, qui forment, sur beaucoup de points, une sorte d'appendice à la base du terrain crétacé, et que l'on désigne sous le nom d'étage *néocomien*.

Les calcaires crayeux, à tissu lâche et poreux, sont les roches caractéristiques du terrain crétacé dans toutes les régions du nord et de l'est de l'Europe; mais, dans les régions de l'ouest et du midi, les calcaires sont beaucoup plus compactes et se mélangent d'une plus grande proportion de roches arénacées et argileuses.

Dans les régions pyrénéennes, le terrain crétacé, qui joue un rôle très-important, présente des caractères particuliers qui sont un exemple des variations nombreuses que subit ce terrain dans le bassin de la Méditerranée. Il est principalement composé de marnes noires, alternant avec des grès micacés, des poudingues et des calcaires gris bleuâtre. Ce terrain contient des couches de charbon à Pereilles, Ernani et Saint-Lon; on y trouve du soufre et du bitume à Saint-Boës, et il en sort de nombreuses sources salées, surtout aux environs d'Orthez et de Pampelune. Ces sources salées, presque constamment accompagnées de gypse, d'ophite et de dolomie, sont toujours situées dans des localités où les couches sont très-bouleversées. La masse de sel de Cardonne, si remarquable par sa puissance et par sa pureté (planche IV), est enclavée dans les grès crétacés; ces grès rouges, à grains quartzeux et à pâte argileuse, schisteux et micacés, semblent quelquefois se rapprocher du grès bigarre.

Cette masse puissante est un exemple des amas de sel que le terrain crétacé peut renfermer accidentellement et qui se retrouvent en effet sur d'autres points de l'Europe.

Aux gisements de combustibles précédemment signalés, il faut ajouter les lignites et les bois fossiles de l'île d'Aix. C'est dans la formation du grès verts que se trouvent ces lignites : le terrain est composé de sables verts, de calcaire marneux et de

Masse de Sel Gemme
exploitée à ciel-ouvert dans la Vallée de Cardonne (Pyrénées)

Page 186 T. 1

Digitized by Google

Digitized by Google

marne argileuse ; il contient des gryphées, des peignes, des spatangues, et surtout des débris végétaux qui se rapportent aux fucoïdes. Le lignite est quelquefois compacte, le plus souvent il a parfaitement conservé le tissu ligneux et les formes végétales ; il est accompagné de silex, de pyrites, etc.

En suivant ainsi les terrains crétacés dans le sud-ouest de la France et dans les Pyrénées, on voit se modifier les roches tendres, sableuses et calcaires, qui caractérisent les gisements septentrionaux. On voit leur succéder des grès et des poudingues plus solides ; des calcaires durs, compactes et presque saccharoïdes. Dans le sud-est, ces caractères se modifient de nouveau et s'éloignent encore plus du type observé dans le comté de Sussex, la Champagne, la Picardie, etc. Les calcaires blancs et compactes, qui sont les roches les plus apparentes, n'ont de relations avec les calcaires crayeux du nord qu'une grande homogénéité, une structure massive, et peu de fossiles ; ils ressemblent beaucoup plus aux calcaires du terrain jurassique, auxquels ils ont été pendant longtemps assimilés. Dans les Alpes et notamment aux Fix en Savoie, des calcaires noirs, compactes, qui se retrouvent sur plusieurs sommités de la chaîne du Buet, ont été reconnus comme appartenant à la craie, ainsi que les calcaires marno-sableux et bitumineux (Entrevernes) qui contiennent de la houille anthraciteuse.

Les calcaires dits *alberese* et les roches arénacées que l'on appelle *macignos* ou *grès à fucoïdes* appartiennent à la partie supérieure de la craie et forment, sur le littoral de la Méditerranée, une nouvelle anomalie aux caractères du terrain dans le nord de l'Europe.

Ces variations minéralogiques donnent une grande importance aux fossiles caractéristiques qui facilitent la reconnaissance et l'étude du terrain crétacé. En France, on prend surtout pour terme de comparaison les caractères des deux formations du grès vert et de la craie qui sont à découvert autour du grand bassin tertiaire dont Paris occupe le centre.

Formation du grès vert. — La formation crétacée inférieure

Digitized by Google

est facile à étudier dans le nord de la France, sur les falaises d'une partie du littoral de la Manche, et dans les puits nombreux qui ont été percés dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais, pour atteindre les terrains houillers sous-jacents. Elle commence par des bancs arénacés appelés *tourtia* par les mineurs du Nord. Ces bancs sont souvent incohérents et formés de sables et de cailloux roulés ; d'autres fois ce sont des grès solides, un peu argileux, caractérisés par une grande quantité de grains chloriteux qui les colorent en vert.

La craie glauconieuse apparaît en beaucoup de points de la Seine-Inférieure en stratification concordante avec la craie marneuse qui forme la partie inférieure de la formation crayeuse. Cette roche est une véritable craie compacte à grains verts[1] qui deviennent plus abondants dans les assises inférieures, de telle sorte que le calcaire finit par n'être plus qu'un sable, sans qu'il soit possible de saisir une limite entre la craie glauconieuse compacte et la glauconie sableuse qui en forme les assises inférieures. La craie glauconieuse contient souvent du fer phosphaté en rognons, des nodules à surface cristalline et à cassure radiée de fer sulfuré, et du bois pétrifié. Certaines couches abondent en fossiles et sont surtout remarquables par de nombreux madrépores à l'état calcaire ou siliceux. Les silex pyromaques ou calcédonieux y forment des lits quelquefois très-rapprochés ou bien se trouvent disséminés dans la masse. Cette formation inférieure se lie d'ailleurs avec la formation supérieure, de sorte que la ligne de démarcation est souvent difficile à saisir. A la côte Sainte-Catherine, près Rouen, cette ligne de démarcation est indiquée par une petite couche qui contient beaucoup de fos-

[1] Les grains verts chloriteux de la craie glauconieuse ont été analysés par M. Berthier, qui a obtenu les résultats suivants :

Silice.	0,50
Protoxide de fer.	0,21
Alumine.	0,07
Potasse.	0,10
Eau.	0,11
	0,99

Digitized by Google

siles (ammonites, scaphites, nautiles, hamites, etc.). Au cap de la Hève on voit la formation du grès vert reposer sur l'étage oolitique supérieur, et, comme la côte Sainte-Catherine présente principalement le développement de la formation crayeuse, l'ensemble de ces deux coupes donne le développement du terrain crétacé.

La coupe du cap de la Hève présente à partir de la base :

	mètres.
Calcaire marneux à *gryphée virgule*, marnes et grès appartenant à l'étage oolitique supérieur	15,0
Sables et poudingues ferrugineux	4,5
Marne noire à grains verts	2,0
Sables ferrugineux à gros grains	4,5
Glauconie très-verte, sableuse	1,0
Marne grise glauconieuse et grès	1,5
Glauconie sableuse	1,5
Marne dure glauconieuse avec sélénite, fer pyriteux globuliforme et fossiles	2,5
Craie glauconieuse micacée, dure, en masses non continues	1,5
Argile brune micacée, avec fossiles	1,5
Craie dure, glauconieuse	1,5
Craie glauconieuse à nodules siliceux et glauconieux	7,0
Craie glauconieuse avec silex cornés et silex pyromaques, par bandes horizontales nombreuses et rapprochées	20,0
Craie jaune à points verts	15,0
Silex pyromaques jaunes	10,0
Sable fin	3,0
	92,0

On voit que la formation crétacée inférieure dont cette coupe donne la composition diffère sensiblement de ce qu'elle est en Angleterre, principalement par la prédominance des couches calcaires.

La formation crétacée inférieure présente des caractères analogues dans tous les affleurements de la France septentrionale. On y retrouve le *tourtia*, représenté par des roches à la fois sableuses, argileuses et calcaires, contenant une grande quantité de quartz roulé. Ces roches sont recouvertes par des argiles et des marnes qui représentent le gault, puis par une assise crayeuse.

Vers l'ouest, dans la Touraine et la Sologne, la formation

Digitized by Google

crétacée inférieure est surmontée par une assise arénacée siliceuse, qui modifie, d'une manière sensible, les conditions de la végétation. En effet, la craie tuffau, qui est au-dessous des sables, constitue le sol fertile de la Touraine, tandis que l'assise sableuse qui la couvre dans la Sologne rend la contrée stérile et donne naissance à des landes.

La craie tuffau, qui forme l'étage supérieur de la formation, est d'un blanc jaunâtre, plus ou moins parsemée de grains chloriteux qui la font passer à la craie glauconieuse et aux sables verts. En beaucoup de points elle renferme des silex blonds ou cornés, dont la présence annonce déjà le passage à la craie marneuse. La craie tuffau est d'une solidité très-variable : tantôt presque friable, tantôt assez consistante pour servir de pierre de construction; dans la Touraine elle est exploitée pour cet usage, ainsi que pour l'amendement des terres.

En Belgique, la formation crétacée inférieure a été divisée en trois assises : la première est arénacée, composée de sables et de grès, dont les premières couches sont simplement siliceuses, tandis que les autres sont caractérisées par des grains verts. Viennent ensuite des argiles exploitées en plusieurs points comme terre à foulon, qui passent à des marnes bleuâtres et représentent la marne gault; elles sont recouvertes par des grès et sables chlorités verts, dont la partie supérieure passe à la glauconie sableuse. Cette assise, qui est le green-sand supérieur des Anglais, abonde en fossiles.

La zone crétacée qui s'appuie sur le versant méridional des montagnes anciennes du centre de la France appartient à la formation crétacée inférieure; elle repose, depuis Angoulême jusqu'à Rochefort, sur les assises les plus modernes du terrain jurassique, et elle est recouverte par le terrain tertiaire du bassin de Bordeaux. Ses caractères minéralogiques sont à peu près identiques à ceux des gisements de la France septentrionale. Les premières assises sont des grès siliceux, tantôt peu adhérents et ferrugineux, tantôt solides et à ciment calcaire. Au-dessus de ces grès, mais intimement liés avec eux, existent des

Digitized by Google

calcaires qui présentent de grandes variations de texture; ils sont le plus souvent durs et cristallins (Angoulême), d'autres fois tendres et friables comme de la craie des environs de Paris. Ces caractères varient suivant les localités et suivant la position géognostique des couches. A l'extrémité ouest du bassin, ces calcaires (depuis les environs de Rochefort jusqu'à Cahors) sont granulaires, c'est-à-dire composés de petites particules arrondies, réunies par un ciment cristallin. Des couches plus ou moins marneuses, analogues à la craie tuffau de la Touraine, succèdent à ce calcaire granulaire, tandis que les parties supérieures présentent souvent des calcaires compactes et oolitiques.

Parmi les fossiles nombreux qui existent dans cette zone, les uns sont identiques à ceux des dépôts équivalents du nord; d'autres, tels que les hippurites, les sphérulites, etc., sont particuliers au bassin méridional.

Formation crayeuse. — La craie forme une large ceinture autour du bassin tertiaire dont Paris occupe le centre. Ainsi, en partant de Paris et se dirigeant vers le sud, l'est ou l'ouest, on voit la craie se dégager de dessous les terrains tertiaires. La ligne d'affleurement passe à Montereau, d'où elle se continue jusqu'à la Roche-Guyon; elle passe derrière Provins, devant Sézanne, derrière Montmirail, devant Épernay, derrière Laon, au nord de Compiègne, près Beauvais et Gisors. Au delà de ces limites, on trouve dans presque toutes les directions des plaines et des plateaux de craie d'une étendue considérable.

C'est la craie qui constitue les plaines vastes et stériles de la Champagne pouilleuse, exemple frappant de la complète stérilité du calcaire pur; des surfaces considérables restent dénuées de toute végétation, qui reparait lorsque des roches argileuses ou sablonneuses sont superposées à cette craie. Les plaines crayeuses de la Champagne s'élèvent insensiblement dans la direction des Vosges jusqu'à Sainte-Ménehould, où elles sont remplacées par les calcaires sableux et chlorités de la formation inférieure qui se terminent eux-mêmes à Clermont en Argonne.

Autour du bassin de Paris la formation crayeuse est, avons-

nous dit, bien plus développée du côté de l'est que du côté de l'ouest où c'est au contraire la formation du grès vert qui est la plus étendue. La roche dominante est une craie blanche, mélangée d'une quantité plus ou moins grande de sable siliceux, et qui dans sa partie inférieure devient marneuse, sableuse et passe au tuffau. Cette craie est essentiellement massive, ce qui tient à son homogénéité qui empêche toute ligne de stratification de paraître, car cette stratification est indiquée la plupart du temps par des rognons de silex, disposés suivant des plans parallèles, et dont la présence caractérise surtout la partie supérieure. Ces rognons sont de silex pyromaques dans la partie supérieure ; dans la partie inférieure ce sont des silex cornés. Ils présentent la forme d'ellipsoïdes tuberculeux, plus étendus dans le sens horizontal, et qui tantôt sont isolés, tantôt se rapprochent et se soudent les uns aux autres, de manière à former des lits continus, à surface inégale, glanduleuse, et percés de vides irréguliers. Dans les carrières de Meudon, ces lits de silex sont distants d'environ 2 mètres et sont quelquefois assez continus pour former couche et servir de toit aux galeries d'exploitation.

La craie blanche se subdivise en plusieurs variétés, et l'on distingue de bas en haut : 1° la *craie marneuse* ou craie grise ; 2° la *craie blanche compacte ;* 3° la *craie ocrée ;* 4° la *craie subcristalline ;* 5° la *craie blanche supérieure* ou craie graphique.

La côte Sainte-Catherine, près Rouen, présente la coupe suivante qui peut être considérée comme faisant suite à celle du cap de la Hève, que nous avons donnée précédemment.

	mètres.
Craie glauconieuse sableuse, reconnue au fond d'un puits. . .	10
Craie glauconieuse dure.	15
Ligne de scaphites et craie sableuse, parsemée de grains glauconieux avec silex cornés et bandes de silex pyromaques nombreuses dans le bas.	20
Craie grise marneuse.	5
Craie sans silex, avec des veines grises.	25
Bandes de silex, séparées par des lignes de craie blanche. . .	10
Craie blanche avec silex.	50
Terrain superficiel.	10
	145

Digitized by Google

Le terrain crétacé présente, vers la partie centrale du bassin de Paris, une épaisseur beaucoup plus considérable que ne l'indiquent ces coupes, car le forage de Grenelle n'a atteint qu'à la profondeur de 547 mètres les sables verts inférieurs qui contiennent les eaux artésiennes.

Les caractères de la formation crétacée supérieure sont à peu près telles que nous venons de les énoncer dans toutes les parties de ce que nous avons appelé le développement normal du terrain. Les falaises que présente ce terrain dans la Manche établissent une connexion complète entre le sud-est de l'Angleterre et la France septentrionale : ces falaises forment des rideaux prolongés, qui ne sont interrompus que par les dépressions où les sables, poussés par les vents, vont former des dunes ; les plaines ondulées qu'elles supportent présentent dans les deux pays les mêmes roches, le même *faciès*, les mêmes directions de vallées.

Les fossiles les plus caractéristiques de cette formation crayeuse sont les bélemnites, les oursins, les huîtres deltoïdes ou carinées, etc.

Dans l'est de l'Europe, la craie conserve les caractères de nos formations du nord, mais elle présente en outre quelques traits particuliers, notamment des gîtes accidentels de gypse et de soufre. Dans la Gallicie, le gypse se trouve en amas stratifiés ; il est en partie compacte et grenu, en partie cristallin. Quant au soufre, il est disséminé en particules ou en nids, comme à Szczerzec et Babin sur le Dniester, et forme quelquefois de petits lits alternant avec des strates calcaréo-argileux et gypseux. Les amas de gypse, lorsqu'ils ne sont pas recouverts, donnent lieu à des saillies, telles que les rochers de Szczerzec et de Rohatyn qui forment des escarpements très-prononcés.

Cette liaison du terrain crétacé avec le gypse et le soufre se reproduit en Pologne où se trouvent les bancs de soufre de Czarkow : ces bancs sont subordonnés à des masses gypseuses qui forment des collines, dans lesquelles le gypse alterne avec des marnes.

Digitized by Google

On a également signalé sur plusieurs points de la Gallicie des dépôts ligniteux enclavés dans des marnes schisteuses, des argiles, des sables et des calcaires bleuâtres, qui appartiennent au terrain crétacé.

Digitized by Google

CHAPITRE V

TERRAINS TERTIAIRES ET ALLUVIENS.

Les terrains tertiaires et alluviens sont, de tous les dépôts sédimentaires, ceux qui couvrent la plus grande surface en Europe, non pas qu'ils soient en réalité plus étendus que les terrains secondaires, mais parce que ce sont les derniers dépôts, et par conséquent, ceux qui sont superposés à tous les autres.

En France, le terrain tertiaire couvre 15 500 000 hectares et le terrain alluvien 500 000 hectares, c'est-à-dire qu'ils s'étendent ensemble sur près du tiers de la superficie.

Les terrains tertiaires ont été déposés dans les grands bassins hydrographiques des époques jurassiques et crétacées, lorsque ces bassins n'ont pas été portés à des niveaux assez élevés pour être complétement émergés. Dans les contrées accidentées, ils forment des bassins plus petits qui ont occupé les dépressions principales.

Bien que composés d'une manière analogue aux dépôts secondaires, de couches sablonneuses arénacées, d'argiles, de marnes et de calcaires, les dépôts tertiaires présentent dans leur ensemble des différences notables. Les couches sont généralement moins épaisses, les alternances plus répétées, et par conséquent la composition en est plus variée. Les roches sont aussi d'un tissu plus lâche et plus poreux, et par conséquent moins résistantes aux agents atmosphériques que les roches secondaires.

Si l'on joint à ces caractères de composition les conditions ordinaires des surfaces tertiaires qui atteignent rarement des niveaux élevés et qui constituent principalement des pays de

Digitized by

plaines, on se rendra compte des conditions favorables que présentent ces terrains où se sont formés les centres principaux de population ; Paris, Bordeaux, Londres, Vienne, Berlin, etc., sont sur le sol tertiaire ou alluvien.

Les terrains tertiaires contiennent une grande quantité de coquilles fossiles qui se rapprochent de plus en plus des espèces qui vivent actuellement dans les mers. Ces fossiles servent à reconnaître et à classer les formations successives : la plus inférieure présente d'abord environ 3 pour 100 des espèces actuelles, la proportion s'élève à 15 ou 20 pour 100 dans la formation moyenne, à 50 pour 100 dans la formation supérieure, enfin, elle est de 80 pour 100 dans les terrains superficiels que l'on peut rapporter aux premières alluvions.

La division des terrains tertiaires et alluviens peut être établie ainsi qu'il suit :

Alluvions.	Sables et tourbes. Blocs erratiques, sables et cailloux roulés.
Formation supérieure pliocène.	Alluvions de la Bresse. Marnes sabapennines.
Formation moyenne miocène.	Faluns de la Touraine. Calcaires lacustres. Sables et grès de Fontainebleau.
Formation inférieure éocène.	Marnes du gypse. Gypse. Calcaires siliceux. Calcaire grossier. Argile plastique. Calcaires nummulitiques.

Formation tertiaire inférieure. — Les calcaires nummulitiques ont été longtemps regardés comme appartenant au terrain crétacé. Ce sont des calcaires généralement assez compactes et caractérisés par un grand nombre de coquilles plates et cloisonnées que l'on appelle nummulites. Ces calcaires sont accidentés dans le voisinage des Pyrénées, et par conséquent sont antérieurs aux soulèvements de cette époque, tandis que l'ensemble des terrains tertiaires est au contraire postérieur.

Digitized by Google

Malgré cette discordance de stratification, les calcaires nummulitiques se lient sur d'autres points si intimement aux terrains tertiaires, qu'on peut les comprendre dans cette période. Ils alternent souvent avec des roches arénacées ou argileuses et forment, notamment sur le littoral méditerranéen, des dépôts très-puissants et très-étendus.

Les types des divers étages calcaires qui constituent les formations tertiaires inférieure et moyenne peuvent être pris dans le bassin dont Paris occupe le centre, bassin où le terrain est plus complet que partout ailleurs et présente de nombreuses alternances d'étages successivement caractérisées par des coquilles marines et par des coquilles d'eau douce.

L'*argile plastique*, qui se trouve presque toujours au-dessus de la craie parisienne, est une argile onctueuse et délayable. L'épaisseur en est très-variable ; tantôt elle est de plus de 16 mètres, tantôt elle se réduit à quelques décimètres ; plusieurs exemples semblent indiquer que cette épaisseur est en raison inverse de la proximité de la craie, de sorte que son dépôt en aurait nivelé la surface inégale et ondulée.

L'argile plastique affecte des couleurs très-variables : le plus souvent elle est d'un gris assez foncé ; d'autres fois elle est veinée de rouge et de jaune, notamment au sud de Paris, de Gentilly à Meudon ; il y en a de blanche à Moret et dans la forêt de Dreux. Selon ses diverses qualités, elle est employée à faire de la faïence, de la poterie, des creusets, des carreaux, des briques, des tuiles, etc.... Les substances accidentelles y sont : les lignites et de nombreux débris de végétaux, des pyrites en grains cristallins ou substitués à des débris organiques, du succin et des nodules résineux, des cristaux de gypse, des fragments siliceux ou calcaires. Les fossiles y consistent en végétaux carbonisés et en coquilles d'eau douce et marines, que l'on trouve mélangées dans les couches supérieures. Les premières sont, des planorbes, des lymnées, des paludines, des nérites, des mélanies...; les secondes sont, des cérites, des ampullaires, etc., qui se trouvent aussi dans le calcaire marin superposé.

Digitized by Google

Les lignites de l'argile plastique ont conservé le tissu ligneux : tantôt ils forment de véritables couches stratifiées, terreuses ou schisteuses, qui ne sont qu'un mélange d'argile, de carbone et souvent de pyrites, ce qui leur a fait donner le nom de cendres pyriteuses et les rend propres à la fabrication du sulfate de fer et de l'alun ; d'autres fois, on les trouve en couches compactes, d'un noir brunâtre, denses et à cassure conchoïde.

Le *calcaire grossier*, composé de calcaires caractérisés par une quantité prodigieuse de coquilles marines, alternant avec des marnes argileuses et des marnes calcaires, succède à l'argile plastique.

Les calcaires des assises inférieures sont souvent sablonneux ; il arrive même qu'ils ne recouvrent pas immédiatement l'argile plastique et qu'ils en sont séparés par un banc de sable. Ces calcaires sont très-coquilliers, d'une texture grossière et parsemés de grains d'un vert foncé, analogues à ceux de la glauconie. Les coquilles marines y abondent et sont remarquables par leur conservation, un assez grand nombre ayant encore leur éclat nacré : ce sont des nummulites, des lucines, des bucardes, des crassatelles, des turritelles, des cérites et notamment la cérite gigantesque (*cerithium giganteum*), qui caractérise cet étage.

L'assise moyenne est composée de couches de calcaire grossier jaunâtre, d'une solidité variable, très-coquillier, et contenant rarement des grains de chlorite. L'on y remarque un banc tendre, verdâtre ou gris jaunâtre, dont la partie inférieure présente souvent des empreintes brunes de tiges et de feuilles de végétaux non marins, mêlées avec des coquilles marines, telles que des cérites, des ampullaires, des orbitolites, pétoncles, cithérées, turritelles, etc., et surtout des miliolites, que l'on peut trouver aussi dans les couches plus élevées, mais dont la profusion est ici caractéristique.

L'assise supérieure du calcaire grossier commence par les couches les plus solides et les plus propres aux constructions, qui sont désignées par les ouvriers sous le nom de *roche*. A me-

Digitized by Google

sure qu'on s'élève, les bancs deviennent plus minces, plus multipliés, et alternent avec des marnes argileuses et calcaires. Le calcaire grossier et le calcaire roche passent alors au calcaire cliquart, qui est dur et compacte comme le calcaire lithographique, en lits peu épais, et souvent pétri de cérites. On trouve dans ces calcaires la silice, soit en mélange intime, soit sous forme de quartz sableux concrétionné, soit, enfin, à l'état de silex corné : c'est en quelque sorte un prélude à la formation du calcaire siliceux. D'autres fois ce sont les marnes calcaires et argileuses qui prennent tout à fait le dessus, et l'on y trouve des cristaux de chaux sulfatée qui semblent indiquer un passage à l'étage gypseux.

Les diverses assises du calcaire grossier constituent presque toute la surface du sol parisien entre l'Epte et la Marne, sur la rive droite de la Seine. Sur la rive gauche, cet étage forme, depuis Meulan jusqu'à Choisy, une zone où sont ouvertes beaucoup d'exploitations. Les caractères généraux se maintiennent avec une constance remarquable dans toute cette étendue. On remarque cependant en plusieurs points que les calcaires de l'étage supérieur passent à des grès siliceux, friables ou solides très-coquilliers, qui même les remplacent entièrement. Ces grès sont exploités à Beauchamps.

Le calcaire grossier parisien est souvent remplacé par un *calcaire siliceux* d'eau douce, ce qui a fait considérer le bassin dans lequel ces dépôts se sont effectués comme un grand lac salé, traversé par des cours d'eau volumineux, venant alternativement de la mer et des continents, qui ont produit ces enchevêtrements marins et lacustres.

Le calcaire siliceux est composé d'alternances de calcaire blanc, finement grenu, et d'un calcaire dur, compacte, blanc jaunâtre, qui est intimement mélangé d'une forte proportion de silice. Il est souvent caverneux, à cavités irrégulières, plus étendues dans le sens de la stratification que dans le sens vertical, à parois déchiquetées et quelquefois tapissées de quartz cristallin ou stalactitique; il renferme des coquilles d'eau douce.

Le calcaire siliceux repose sur le calcaire grossier; mais il s'est principalement développé là où le calcaire grossier l'est peu; de telle sorte que la puissance de ces deux étages est toujours en raison inverse. Il arrive même (Montereau) que le calcaire siliceux repose immédiatement sur l'argile plastique, de sorte que son dépôt aurait commencé sur ces points en même temps que celui du calcaire grossier; et que l'influence sédimentaire qui l'a produit se serait prolongée depuis le calcaire siliceux de Montereau jusqu'aux meulières de la Ferté-sous-Jouarre, c'est-à-dire depuis la partie inférieure du calcaire grossier jusqu'à l'étage gypseux.

Le calcaire siliceux constitue au sud-est de Paris un vaste plateau, qui n'est interrompu par aucun autre terrain, et où le calcaire marin est presque entièrement éliminé. Au nord-ouest, la vallée de la Marne en forme la limite naturelle jusqu'à Amboise, d'où il va gagner en ligne droite la vallée de la Seine, qu'il suit depuis Villeneuve-Saint-Georges jusqu'à Draveil; à l'ouest il a pour limite la vallée d'Orge jusqu'au delà d'Arpajon, où il s'enfonce sous les sables de la Beauce. Les escarpements de Champigny sur le bord de la Marne sont parfaitement disposés pour l'étude de ce calcaire qui est représenté par une grande épaisseur de masses calcaires compactes, réunies par des infiltrations de calcaire spathique, de quartz cristallin, de silex et calcédoine diversement colorés. Cette roche calcaréo-siliceuse fournit, dans presque toute l'étendue du plateau, une excellente chaux; lorsqu'elle est exclusivement siliceuse, elle est exploitée, notamment à la Ferté-sous-Jouarre comme pierre meulière, soit pour la construction, soit pour la fabrication des meules.

L'*étage gypseux* qui surmonte les calcaires grossiers ou siliceux consiste en alternances de couches de gypse et de marnes argileuses ou calcaires. Il forme depuis Meaux jusqu'à Meulan, Triel et Grisy, sur une longueur de plus de vingt lieues, une zone large d'environ vingt kilomètres, dirigée du sud-est au nord-ouest, et composée de collines allongées dans le sens de la vallée de la Seine. Ces collines semblent des masses isolées et

indépendantes, superposées aux plateaux calcaires. Elles sont composées de deux assises très-distinctes : l'assise gypseuse proprement dite, caractérisée par le gypse et par des débris d'animaux terrestres; l'assise supérieure, exclusivement composée de marnes, et qui présente au contraire des débris de coquilles marines.

L'assise gypseuse se subdivise en deux masses de gypse : la masse inférieure est formée d'alternances multipliées de marnes et de bancs peu épais de gypse plus ou moins saccharoïde et souvent cristallin. Les marnes sont tantôt calcaires et solides, tantôt argileuses et très-feuilletées : les premières contiennent souvent ces gros cristaux de gypse lenticulaire, dont les fragments constituent ce que l'on appelle la chaux sulfatée en fer de lance; les marnes argileuses, feuilletées, indélayables, renferment quelquefois des tubercules siliceux, désignés sous le nom de silex ménilite. Quelques variétés de ces marnes sont délayables; telle est la marne d'un gris marbré, souvent employée comme pierre à détacher, et dans laquelle on trouve des rognons épars de strontiane sulfatée. Cette première masse gypseuse contient des squelettes et des os de poissons.

La masse gypseuse supérieure est à peu près formée d'un seul banc de gypse qui atteint jusqu'à vingt mètres d'épaisseur; il n'y a qu'un petit nombre de couches de marnes. Le gypse y est tantôt finement saccharoïde, tantôt composé de cristaux lenticulaires d'un ou plusieurs millimètres, accolés par l'effet d'une cristallisation confuse. Les premiers bancs, que l'on rencontre de bas en haut, présentent souvent des infiltrations siliceuses, tantôt concentrées en amas, tantôt en petits lits alternants, de sorte que dans les exploitations on voit des blocs qui présentent des bandes successives de silex blanc jaunâtre, opaque, et de gypse. Les bancs intermédiaires sont les plus puissants; le gypse y est en quelque sorte massif et souvent divisé en gros prismes informes que l'on désigne sous le nom de hauts piliers. Enfin, les bancs les plus superficiels sont peu puissants et pénétrés des marnes avec lesquelles ils alternent. Les marnes finissent par s'isoler,

et leurs alternances forment une épaisseur plus ou moins considérable au-dessus du gypse : on a trouvé dans les premières couches des lymnées et des planorbes, analogues à celles qui vivent actuellement dans les eaux douces ; au-dessus sont des marnes calcaires et argileuses, sans fossiles, qui forment la transition à l'étage des marnes marines supérieures au gypse.

La masse gypseuse supérieure est celle qui renferme une quantité si prodigieuse d'ossements de quadrupèdes jusqu'alors inconnus, de débris d'oiseaux, de crocodiles, de tortues terrestres et d'eau douce, et de plusieurs genres de poissons. Les mammifères, que les travaux de M. Cuvier ont rendus si célèbres, sont des pachydermes auxquels on a donné les noms de palæothériums, d'anoplothériums et d'anthracothériums.

Au-dessus des marnes blanches à coquilles d'eau douce, se trouvent des marnes colorées, sans fossiles, surmontées d'un banc de marne jaunâtre, feuilletée, d'environ un mètre d'épaisseur. Il renferme un lit mince de coquilles bivalves que MM. Cuvier et Brongniart ont rapportées au genre Cythérée. Ce banc, reconnu sur un espace de plus de dix lieues de long, sur plus de quatre de large, sert de limite entre les marnes d'eau douce et les marnes marines; car toutes les coquilles que l'on trouve au-dessus sont des cérites, trochus, cythérées, huîtres, cardiums, etc.

Les marnes marines sont généralement vertes ; elles contiennent quelquefois des argiles blanches employées à la fabrication de faïences communes ou de briques, des rognons de strontiane sulfatée, et se terminent par des sables argileux qui les lient à l'étage superposé des sables micacés et grès marins supérieurs.

La formation tertiaire inférieure présente autour de Londres des caractères un peu différents de ceux que nous venons de décrire autour de Paris, plutôt sous le rapport minéralogique que sous celui des subdivisions géologiques. On voit de même la craie se dégager de dessous les couches tertiaires et former autour d'elles une ceinture de collines, dont les premières appartiennent à la craie blanche, les plus éloignées au grès vert,

auxquelles succèdent les divers étages jurassiques, de telle sorte que, de Londres au pays de Galles ou à Snowdon, les coupes des terrains sont disposées comme celle de Paris aux Vosges ou à Avallon, et n'en diffèrent que par le développement inégal des formations.

Les subdivisions établies dans les couches tertiaires des environs de Londres sont : 1° un dépôt arénacé, qui se rapporte à l'argile plastique; 2° l'argile de Londres, qui représente le calcaire grossier; 3° une assise arénacée peu développée et désignée sous la dénomination de sables de Basghot.

L'argile de Londres, qui forme le trait principal du terrain, est une argile bleuâtre, brune ou noirâtre, souvent effervescente et passant à la marne, quelquefois sableuse; elle contient des lits de concrétions calcaires, désignées sous le nom de *septarias*, et quelques bancs de grès. Cette argile est caractérisée par un grand nombre des fossiles du calcaire grossier parisien, entre autres le *cerithium giganteum*; et, bien qu'il n'y ait pas identité complète, cependant la comparaison des listes de fossiles et la position géognostique ne permettent pas de douter que ces deux assises, si différentes sous le rapport minéralogique, ne soient équivalentes.

Le sol tertiaire qui constitue les environs de Bruxelles présente plus d'analogies avec le terrain de Londres qu'avec celui de Paris. L'étage le plus inférieur est une marne argileuse, bleuâtre ou noirâtre, renfermant des rognons et des bancs de calcaire marneux analogues aux *septarias*. Au-dessus de cette marne, un mélange irrégulier de principes siliceux et calcaires constitue un étage dont les caractères sont variables. Le calcaire est jaunâtre ou grisâtre et d'une solidité très-variable; sa texture grossière passe, comme dans le calcaire parisien, à la texture compacte; il constitue des rognons et des masses englobées dans les parties meubles, plutôt que des couches régulières. Les principes siliceux se mélangent à ces calcaires qui passent à des grès effervescents et à des sables.

Au-dessus de l'assise calcaire commencent des alternances

Digitized by Google

exclusivement siliceuses désignées sous les noms de grès fistuleux, grès blanc et grès ferrifère. Les grès blancs forment, au milieu des sables, des bancs et des blocs mamelonnés; tantôt ils sont friables et se réduisent facilement en poudre, d'autres fois ils sont fortement agglutinés et passent au quartz compacte et au silex.

Formation tertiaire moyenne. — Les sables et grès marins, qui dans le bassin de Paris constituent la base de la formation moyenne, se composent de sables et grès siliceux, subdivisibles en deux variétés. Dans la partie inférieure ce sont très-souvent des sables jaunâtres ou rougeâtres, micacés, analogues aux sables des atterrissements, qui passent à un sable blanc et pur, très-recherché pour les verreries. Le développement de ces sables blancs est presque toujours le prélude de celui des grès supérieurs, tantôt très-durs, tantôt sableux et grenus, et spécialement employés au pavage. La partie supérieure de ces bancs de grès est quelquefois imprégnée de calcaire, notamment lorsqu'ils sont recouverts par le calcaire d'eau douce supérieur.

Les sables micacés représentent un terrain de transport, tandis que les sables et grès purs semblent plutôt représenter un terrain de précipitation chimique, formé par voie de cristallisation confuse.

Les sables et grès marins sont d'ailleurs peu variés dans leurs caractères, et le point de leur développement le plus étendu et le plus intéressant sous le rapport des exploitations est le sol de la forêt de Fontainebleau. Les roches saillantes sont des grès blancs qui se présentent le plus souvent sous la forme de gros blocs mamelonnés, à surfaces arrondies et tuberculeuses, englobés dans des sables blancs. Ces blocs présentent quelquefois des cavités remplies de sables, où se trouvent des groupes de cristaux rhomboédriques de chaux carbonatée quartzifère. Lorsque les sables ont été enlevés par l'action des eaux, le grès de Fontainebleau est resté en masses arrondies et disloquées, qui sont entassées les unes sur les autres.

Digitized by

Les meulières et marnes calcaires d'eau douces supérieures forment un étage superposé aux sables et grès marins.

Cet étage est le plus souvent représenté par des meulières et des sables argilo-ferrugineux, qui alternent avec des marnes verdâtres, rougeâtres ou blanchâtres. Les meulières caverneuses rougeâtres sont les plus communes, les variétés blanchâtres ou bleuâtres sont les plus estimées; elles ne renferment pas de corps organisés et se présentent en blocs très-irréguliers et peu continus. Ces meulières se distinguent des calcaires siliceux de Champigny et de la Ferté-sous-Jouarre, en ce qu'elles ne contiennent ni quartz cristallin ni calcédoine mamelonnée.

Au-dessus de ces meulières sans fossiles on ne trouve souvent que la terre végétale ou le terrain alluvien; d'autres fois il existe encore des silex ou des marnes et des calcaires qui renferment des coquilles d'eau douce ou d'autres débris de corps organisés non marins. Les silex sont tantôt pyromaques, tantôt jaspoïdes (Triel), souvent cariés et à l'état de meulières qui se distinguent des meulières précédentes par une texture plus compacte et par des débris organiques abondants (Montmorency, Saint-Cyr, Sanois, etc.). Ce sont des lymnées, des planorbes, des hélices, des cyclostomes..., et de petits corps ronds cannelés, connus sous le nom de gyrogonites, qui ne sont autre chose que des graines de chara, plante qui croît dans les marais actuels. Le calcaire d'eau douce supérieur, caractérisé par ces mêmes fossiles, est blanc ou gris jaunâtre, tantôt tendre et friable, comme de la marne et de la craie, tantôt solide, compacte, à grains fins, quelquefois mélangé de silice (Charenton, plaine de la Trappe...), et formant une roche cariée, composée de silice caverneuse, pénétrée de marne et de calcaire.

Les *faluns*, dépôts arénacés marins, qui couvrent une partie de la Touraine et de la Loire-Inférieure, constituent le dernier étage de ce bassin et semblent le dernier produit des eaux chassées de la dépression parisienne, lorsqu'elle fut comblée. Ce sont tantôt des roches sableuses, renfermant une multitude de coquilles, la plupart brisées, mais parmi lesquelles il en est

Digitized by Google

de très-bien conservées; tantôt une sorte de macigno ou grès calcaire que l'on exploite dans les environs de Doué, Savigné, Rennes, Nantes, etc., sous le nom de *grison*. On a trouvé dans ces diverses couches, dont l'épaisseur est généralement au-dessous de 10 mètres, des ossements de mammifères, parmi lesquels se trouvaient encore des débris de palæothériums.

Les caractères des formations tertiaires inférieure et moyenne du bassin parisien se retrouvent en partie dans beaucoup de bassins plus petits et moins complets.

Ainsi, dans les bassins tertiaires du Puy en Velay et de la Limagne, on trouve, outre des étages argileux, calcaires et arénacés, des traces de l'étage gypseux avec débris caractéristiques d'ossements fossiles, ainsi que des calcaires lacustres.

Dans la Limagne on distingue nettement deux étages tertiaires. L'étage inférieur est généralement argilo-sableux; il se compose de sables ou grès qui passent au grès calcarifère et quelquefois à l'arkose, et se lient par alternances à un développement argileux, composé de marnes différemment colorées. L'étage supérieur se compose de calcaires blancs ou jaunâtres, compactes ou grenus, qui passent fréquemment au calcaire marneux friable et renferment souvent des blocs concrétionnés, dont l'intérieur présente des tubulures attribuées à des animaux analogues aux larves des friganes. Ces dépôts tertiaires de la Limagne sont de plus en plus cachés par les dépôts alluviens, à mesure que l'on descend la vallée de l'Allier; aussi ce n'est qu'en la remontant qu'on peut observer la succession des couches. Les alternances sableuses et argileuses que l'on voit d'abord à découvert dans les découpures principales représentent l'étage inférieur; à mesure que l'on s'élève, l'on voit surgir des collines calcaires, qui sont très-multipliées dans toute la partie basse du département du Puy-de-Dôme. Aux environs de Clermont, ces calcaires d'eau douce sont souvent noircis par du bitume, et ceux qui environnent les puys de Crouelle et de la Poix en sont totalement imprégnés. Les fossiles sont presque entièrement concentrés dans cet étage calcaire : ce sont des

lymnées, des planorbes, des hélices, des paludines, des cypris faba. On y a trouvé des ossements d'anoplothérium, d'anthracothérium, d'hippopotame, de tortue, de crocodile, etc.

La grande vallée qui sépare les Alpes du Jura présente un immense développement de roches conglomérées, qui se prolongent dans les plaines de la Bavière. Ces roches consistent en alternances arénacées désignées sous les noms de *nagelflue*, de *macignos* et de *molasses*, qui passent à l'argile, au calcaire et au grès, et dont les alternances s'élèvent quelquefois à des hauteurs considérables sur les flancs des Alpes.

Cette composition des dépôts tertiaires de la Suisse en roches conglomérées, dont les couches sont souvent bouleversées, leur donne une physionomie toute particulière. Les molasses, composées d'un mélange variable de sable, de calcaire et d'argile, sont généralement tendres et en assises très-épaisses, dont la stratification n'est guère indiquée que par l'intercalation de bancs subordonnés de grès coquillier, de calcaire fétide ou d'argile. On y trouve peu de corps étrangers, si ce n'est des nodules calcaires disséminés suivant les plans de stratification, du calcaire spathique, et quelques cristaux de gypse. La molasse la plus répandue est grise, jaunâtre ou verdâtre, et souvent employée comme pierre de construction.

Dans sa partie inférieure, la molasse suisse contient un système de calcaire fétide, de marnes et de lignites, où l'on trouve des coquillages d'eau douce et des ossements de mammifères.

Le nagelflue, qui forme l'étage supérieur de ce puissant dépôt, est principalement composé de fragments arrondis de calcaire, de grès et de quartz compacte, réunis par un ciment de molasse et quelquefois par un ciment calcaire. A Salzbourg, non-seulement le ciment est calcaire, mais tous les fragments le sont également. Cependant le nagelflue renferme le plus souvent des roches très-diverses, et l'on y trouve même en un grand nombre de points des blocs de plusieurs mètres cubes de roches dures anciennes, telles que des granites et des porphyres.

En général l'agglutination de tous ces éléments n'est pas très-prononcée; mais quelquefois elle est telle, que la roche est susceptible de poli, et que les blocs et les fragments les plus durs se brisent plutôt que de se détacher. La stratification est très-peu sensible dans le nagelflue, et l'on ne peut guère la saisir que lorsqu'elle est indiquée par des lits intercalés de marnes ou d'argile. Cette roche, étant supérieure aux molasses, constitue la plus grande partie des collines de la Suisse.

Formation tertiaire supérieure. — Les dépôts tertiaires de la formation supérieure constituent au pied des Apennins des collines très-étendues, composées de dépôts sablonneux ou marneux. Ces dépôts subapennins se rapportent à deux étages distincts.

L'étage inférieur se compose d'alternances de marnes grisâtres et bleuâtres dans lesquelles se trouvent un grand nombre de coquilles, dont l'ensemble annoncerait une époque presque équivalente à celle des faluns. Les couches sableuses superposées à ces marnes bleues, présentent, outre des coquilles encore plus proches des espèces actuelles, des ossements de mammifères, tels que des éléphants, des rhinocéros, des cerfs, etc., qui les placent parmi les dépôts les plus superficiels.

Le dépôt arénacé de la Bresse, décrit par M. Élie de Beaumont sous le nom de terrain d'atterrissement ancien des vallées de l'Isère, du Rhône, de la Saône et de la Durance, est un exemple à citer comme type des dépôts tertiaires les plus récents et qui doivent être classés dans la formation tertiaire supérieure.

Dans la vallée de Saint-Laurent-du-Pont (Isère), le terrain jurassique, le grès vert, la craie et la molasse tertiaire coquillière sont en couches inclinées et même verticales, et l'on voit sur la tranche des couches de molasse, aussi bien que sur celle des couches calcaires qui la supportent, s'étendre en un grand nombre de points de grandes masses de cailloux roulés, agglomérés, dont la stratification, quoique peu distincte, n'a évidemment subi aucun dérangement.

Digitized by Google

Ce dépôt, qui a probablement rempli toute la vallée de Saint-Laurent, n'existe plus, dit M. de Beaumont, que le long des montagnes de la grande Chartreuse, qui bordent cette vallée du côté de l'est; il constitue à leur pied des collines considérables, et semble former une seule assise de plusieurs centaines de mètres, divisée en strates irréguliers d'une grande épaisseur. Les cailloux roulés sont de grosseur variable, mais dépassent rarement celle de la tête. On y reconnaît les roches talqueuses des Alpes, et surtout une roche amphibolique qui abonde dans la rangée des cimes primitives qui s'étend du mont Blanc à la montagne de Taillefer en Oisans; on y trouve aussi des euphotides, des variolites du Drac, du jaspe rouge, des quartz micacés grenus, des calcaires quelquefois siliceux, et même du silex, tel qu'il s'en trouve dans les couches jurassiques et les couches crétacées des contrées voisines. Le ciment sableux qui réunit ces éléments est souvent assez cohérent pour donner lieu à un poudingue très-solide et qui ressemble, abstraction faite de la nature des cailloux empâtés, au nagelflue de la Suisse; tandis que le ciment, s'isolant, prend aussi l'aspect de la molasse, dont il diffère cependant essentiellement par une époque géognostique postérieure.

Ce grand amas de cailloux roulés contient, dans le vallon de Roize, près Pomiers, un gisement de combustible fossile. C'est un lignite compacte, passant au jayet, qui est intercalé dans une couche terreuse; peu d'échantillons présentent la texture ligneuse. On a reconnu trois couches d'un ou deux décimètres d'épaisseur, séparées pas des marnes grisâtres et des grès effervescents; l'on n'y voit aucun indice de ces calcaires fétides qui accompagnent constamment et de si près les lignites tertiaires de la Suisse et de la Provence.

Ce dépôt arénacé peut être suivi des environs de Saint-Laurent et Voreppe dans toute la Bresse; en s'éloignant du centre de relèvement des molasses, la stratificatian cesse d'être aussi généralement discordante : on peut néanmoins en voir encore un exemple dans le vallon où se trouve l'ancienne Chartreuse

de Saint-Aupre, au nord-est de Voiron. Les caractères minéralogiques restent toujours constants, et, lorsque les dépôts passent aux sables et qu'ils sont peu agglutinés, ils rappellent d'une manière frappante les alluvions actuelles de la Durance, de l'Isère et du Rhône. Le sable, en devenant très-fin, passe à une marne jaunâtre ou verdâtre; quelquefois il est bleuâtre, schisteux, micacé et charbonneux. Tel est celui qui contient les nombreux gisements de lignites des environs de la Tour-du-Pin : cette fois, les lignites se composent de troncs d'arbres aplatis, qui présentent généralement la texture ligneuse; ils diffèrent ainsi des lignites de Pomiers, mais sont presque identiques à ceux qui sont exploités dans les parties adjacentes de la Savoie.

Dans l'intérieur de la plaine unie de la Bresse, on ne peut guère voir de coupe du terrain que dans un petit nombre de vallées qui entament des alternances de marnes, de sables et cailloux agglutinés; mais les vallées du Rhône et de la Saône, qui la comprennent dans l'angle qu'elles forment entre elles, mettent sa composition à découvert en beaucoup de points et sur une grande hauteur. Ainsi les escarpements du Rhône depuis l'embouchure de l'Ain jusqu'à Lyon présentent le terrain tel qu'il est dans l'Isère. A Lyon même le chemin de Saint-Clair à la Croix-Rousse, et d'autres points encore, montrent les parties inférieures composées, comme à la Tour-du-Pin, de sables agglomérés, tandis que les cailloux roulés de la partie supérieure est un poudingue bien caractérisé. En remontant la Saône de Lyon à Châlons, on voit (Neuville, Trévoux...) le même terrain venir se terminer sur le bord en coteaux rapides et même en falaises escarpées. Une série de collines en indique la continuation sur la rive gauche, jusqu'à Verdun-sur-Saône, puis sur les rives du Doubs, de la Loire et de la Cuisance jusqu'à Dôle.

M. Élie de Beaumont n'a pu suivre la continuité de ces dépôts de la Bresse avec ceux de même nature qui, dans le midi du Haut-Rhin, forment en partie les plaines ondulées des environs

[illegible] des Mines de Wieliczka [illegible] comme un banc de Sel gemme dans le terrain tertiaire des environs de [illegible]

de Dannemarie et d'Altkirch, au milieu desquelles se fait le partage des eaux entre le Rhône et le Rhin. Ce terrain s'élève, il est vrai, à un niveau supérieur de près de 200 mètres; mais on pourrait attribuer cette différence de niveau à une dislocation postérieure, analogue à celle qui a eu lieu entre les parties septentrionale et méridionale de la Bresse. Près de Mezel cette dislocation se manifeste en effet, non-seulement par un exhaussement de niveau, mais par une disposition très-remarquable des couches, qui se relèvent vers un point central.

En résumé, à une époque postérieure au soulèvement des Alpes occidentales de Marseille à Zurich, et par conséquent postérieure au dépôt et aux dislocations des molasses et des nagelflue, la contrée comprise entre Digne et Manosque a présenté une dépression remplie par des eaux probablement douces dans laquelle s'est accumulée un dépôt de transport très-épais, dont les matériaux venaient en grande partie du sud; dépôt dont la surface, très-probablement horizontale, a été ensuite accidentée.

Substances accidentelles des terrains tertiaires. — Le terrain tertiaire présente dans certaines contrées des caractères tout particuliers, par suite des substances accidentelles qui s'y trouvent. Le sel gemme, le soufre, les lignites et les minerais de fer sont les plus importantes de ces substances.

Comme exemple du gisement du sel gemme dans les terrains tertiaires, on ne saurait citer d'exemple plus frappant que celui des terrains salifères de la Pologne, dans lesquels sont ouvertes les salines de Wieliczka et de Bochnia.

L'exploitation des salines de Wieliczka occupe une surface de 3000 mètres de longueur, sur une largeur de 1300. Sous cette superficie existe 62 amas ou lits de sel gemme, disposés dans des argiles tertiaires, ainsi que l'indique la coupe (planche V) due à l'ingénieur directeur des mines, Hrdina.

Dix puits ont été creusés dans ce terrain; plusieurs atteignent une profondeur de 270 mètres. Deux de ces puits sont pourvus d'escaliers pour la descente des mineurs, et six, desservis par

Digitized

des manéges auxquels on attelle jusqu'à seize chevaux, sont consacrés au service de l'extraction. Cinq niveaux de galeries ont coupé les diverses masses, dans lesquelles se développent les travaux d'exploitation, par piliers et galeries, à plusieurs étages superposés. Les chambres intérieures avaient autrefois jusqu'à 50 mètres de hauteur et même plus; mais, aujourd'hui que l'exploitation se fait plus régulièrement, on leur donne des dimensions beaucoup moindres.

Le gisement du sel gemme de Wieliczka est en amas plutôt qu'en couches; cependant, en étudiant la coupe, on voit que ces amas sont tous concordants, et qu'il y a de véritables bancs ou couches réellement stratifiés, qui suivent toutes les ondulations du terrain argileux qui les enclave.

L'argile salifère est gris d'ardoise, tantôt schisteuse, tantôt compacte et polyédrique. Ce qui est très-remarquable, c'est que, plus la stratification du terrain est nette, et plus le sel a une tendance à se stratifier lui-même; tandis que, dans les argiles compactes, polyédriques, il prend des formes tout à fait massives et arrondies.

Les argiles salifères contiennent des fossiles tertiaires, surtout des peignes et des unios, et pourtant elles sont inférieures aux grès carpathiques (grès crétacés), ainsi que l'indique la coupe. On a expliqué cette anomalie par un renversement complet du terrain, perturbation énergique qui se trouve confirmée par l'état ployé et tourmenté des couches du terrain tertiaire.

Toutes les masses de sel de Wieliczka ne sont pas composées des mêmes variétés minéralogiques. Le *grun-salz* ou sel vert est ordinairement le plus rapproché de la surface; il est mélangé de 5 à 6 pour 100 d'argile qui lui ôte sa transparence. On y trouve du gypse en rognons avec de petits cristaux de sel dans les fissures; on y rencontre également des fragments de grès, de calcaire et de marnes sableuses. Le sel dit *spiza* est cristallin et mélangé de sable; le sel *szybick*, qui se trouve principalement dans les niveaux inférieurs, est cristallin à grandes

Digitized by Google

facettes, pur et transparent. Dans les excavations, on a trouvé du grisou qui imprègne aussi le gypse et l'argile ; enfin, comme substances accidentelles, on rencontre de l'anhydrite, des sulfates de baryte et de strontiane, et même du soufre, qui, à Worowicki (à une lieue de Cracovie), est assez abondant pour être exploité.

La succession des couches a été établie ainsi qu'il suit par M. Hrdina.

1° Terrain alluvien composé de sable jaune, d'argile rouge et de sables aquifères.

2° Formation salifère.
- Argiles schisteuses bitumineuses, d'un gris sombre.
- Argiles schisteuses brunes et rougeâtres.
- Argiles salifères avec sel vert.
- Argiles salifères sableuses avec coquilles et bitume renfermant le sel dit spiza.
- Marnes avec anhydrite, contenant le sel dit szybick.
- Marnes d'un gris sombre avec gypse fibreux et bancs de grès.

3° Grès carpathique.

La Toscane est également une contrée favorable à l'étude des gîtes du sel gemme, car elle contient à la fois un grand développement de gypses salifères et des gites de sel gemme, et présente des phénomènes particuliers (les *soffioni*) qui paraissent évidemment la suite des phénomènes qui ont intercalé dans les couches tertiaires ces masses de gypse et de sel gemme.

C'est dans les environs de Volterra et de Castellina que se trouvent les gypses qui fournissent l'*albâtre* au monde entier. L'albâtre blanc est exploité surtout à Castellina où il se trouve en rognons glanduleux, compris dans trois couches de gypse cristallin grisâtre, assez semblables aux couches gypseuses des environs de Paris. Les concentrations amygdalines de gypse pur, qui forment l'albâtre, ont cette blancheur et cette translucidité qui en font le prix. Aux environs de Volterra, les rognons gypseux amygdalins sont moins purs, et se trouvent dans les marnes grises et bleuâtres connues sous la dénomination de *mattajone*. Ces marnes ont été fortement accidentées, et à Volterra même leurs couches ont été inclinées et soulevées ; elles appartiennent

Digitized by Google

à la formation tertiaire supérieure (*marnes subapennines*), et laissent échapper des sources salées qui ont amené la découverte des couches de sel gemme.

Ce que l'on remarque dans les gîtes de la Toscane, c'est à la fois la pureté et la puissance du gypse. Le gisement est évidemment stratifié, soit que le gypse se trouve en grosses masses arrondies, à surfaces noduleuses et mamelonnées, enclavées dans les couches de marne, et se succédant de distance en distance dans le sens de la stratification, soit qu'il constitue des couches épaisses comprises dans les marnes et assujetties à tous les accidents de la stratification. Les marnes encaissantes ne présentent, sur aucun point, des phénomènes de perturbation ou d'altération qui puissent faire supposer une intercalation du gypse postérieure à leur dépôt. Ces rognons gypseux, quoique non continus, sont évidemment stratifiés et contemporains du mattajone.

Le sel gemme paraît déposé, comme le gypse, suivant les lignes de la stratification du terrain. Il est exploité par voie de dissolution; la coupe la plus profonde, fournie par un sondage fait aux environs de l'usine des *Moye*, a indiqué :

	Mètres.	
Coupe du terrain tertiaire salifère de la Toscane.	44	marne bleue contenant des gypses albâtres.
	4,65	sel gemme.
	6	marne avec gypse.
	4,30	marne salifère analogue au salzthon.
	11,40	marne bleue.
	9	marne salifère.
	7,90	marne gypseuse.
	12,50	sel gemme.
	50	marnes bleues.

De l'ensemble de ces caractères, il résulte que le terrain salifère et gypseux de la Toscane peut être considéré comme appartenant à la classe des gisements stratifiés. Les phénomènes qui ont intercalé le gypse et le sel entre les plans des couches de ce terrain, l'un des plus récents parmi les terrains salifères, et qui ont disséminé ces deux substances dans les matières marneuses

Digitized by Google

qui le composent, semblent, ainsi que nous l'avons dit précédemment, liés à l'existence des *soffioni*, dernière manifestation des phénomènes qui auraient agi à l'époque tertiaire avec bien plus d'énergie, et auraient modifié les dépôts, au moment même de leur formation, en y amenant des matières additionnelles.

Les mines de soufre ont les plus grandes analogies de gisement avec les gypses et le sel gemme. Ainsi les mines classiques et si productives de la Sicile sont ouvertes aux environs de Villarosa et de Caltanisetta, dans des marnes noires, bitumineuses, supérieures à des calcaires crétacés, et recouvertes par des dépôts tertiaires pliocènes; elles appartiennent, par conséquent, au terrain tertiaire inférieur. Ces couches marneuses contiennent, avec le soufre du gypse, du sel gemme, du bitume et du succin.

Certains terrains tertiaires contiennent des couches de lignite qui leur donnent un caractère d'une grande utilité; tel est le bassin de Fuveau, près de Marseille, qui par son étendue et ses produits a toute l'importance d'un bassin houiller.

Les lignites de ce bassin alternent avec des couches marneuses et calcaires à coquilles d'eau douce; ils sont compactes et se rapportent aux variétés qu'on appelle lignite parfait ou jayet commun. Ces lignites forment sept couches parfaitement régulières et stratifiées, dans les assises du bassin tertiaire de Fuveau, Crest, etc.; l'épaisseur de chacune de ces couches (de $0^{m},25$ à 1 mètre) est d'une constance telle, qu'on les reconnaît à ce seul caractère dans les diverses parties du bassin.

Ces couches sont comprises dans des alternances calcaires et partagent les nombreux mouvements, inclinaisons, plis, failles et rejets qui ont accidenté les diverses parties du bassin tertiaire. Parmi ces accidents, il en est un qui est propre à ces lignites et qui est connu sous la dénomination de *mouillères*. Ce sont des portions de couches où le lignite est tellement fendillé et décomposé, qu'il est devenu très-perméable à l'eau. Les exploitations y trouvent la double difficulté d'infiltrations abondantes et d'une production de n lle valeur. Dans leur état normal, ces lignites

Digitized by Google

tertiaires ont bien l'apparence de la houille, mais ils n'en ont pas la qualité ; cependant, en certains points, en Toscane, par exemple, on a trouvé quelques petites couches d'un lignite assez parfait pour fournir du coke à la distillation.

Dans la plupart de leurs gisements, les lignites tertiaires ont conservé le tissu ligneux à un degré tel, qu'on peut reconnaître sur beaucoup de fragments la nature des bois constituants. Le sapin, l'aune, le hêtre et le chêne forment les débris les plus ordinaires des lignites des Alpes, et dénotent ainsi un changement notable dans la végétation depuis la période houillère. Ce sont de véritables forêts fossiles.

DÉPOTS ALLUVIENS.

Toutes les grandes vallées contiennent des dépôts alluviens qui atteignent des hauteurs incompatibles avec le régime actuel des eaux fluviales et dont la composition diffère d'ailleurs des alluvions que ces eaux forment sous nos yeux.

Les dépôts alluviens se présentent généralement sous forme de sables et de cailloux roulés, en couches irrégulièrement stratifiées et meubles, sauf leur agglutination accidentelle par un ciment calcaire ou ferrugineux. La nature des roches qui ont fourni les matériaux et la dimension des galets ou blocs sont les seuls éléments distinctifs de ces dépôts ; mais ces éléments, joints à la position géographique des gisements, suffisent pour les caractériser et pour faire reconnaître leur point de départ.

Prenons pour exemple les grandes alluvions qui existent le long de la vallée de la Seine, et dont la largeur atteint sur quelques points plusieurs kilomètres (forêt de Saint-Germain, bois de Boulogne, Sablonville).... Ce sont des sables et cailloux roulés, principalement quartzeux, dans lesquels se trouvent de gros blocs de calcaire siliceux et de grès tertiaires, dont l'origine se reconnait aisément ; il y a de ces blocs qui ont plus d'un mètre cube. En détaillant le dépôt dans les nombreuses exploi-

Digitized by

tations dont il est l'objet, on y trouve de petits noyaux de calcaire compacte jurassique, dont la provenance annonce un point de départ beaucoup plus éloigné, mais encore concordant avec les faits actuels, bien que les débris jurassiques ne soient pas perceptibles dans les sables aujourd'hui charriés par la Seine. L'on trouve en outre de petites paillettes de mica, des fragments de feldspath, et même des blocs de roches granitiques, dont on ne peut guère expliquer la venue qu'en faisant remonter le point de départ des eaux bien plus loin. Ces roches sont identiques aux granites et syénites du Morvan.

Les dépôts alluviens des vallées de la Durance, du Rhône et de l'Isère s'étendent des plaines caillouteuses de la Crau jusqu'aux blocs anguleux qui existent sur les pentes des Alpes ou du Jura.

La Crau, plaine de cinq myriamètres carrés, présente une surface de galets incohérents, dont les sept huitièmes sont quartzeux ; l'épaisseur moyenne de ce dépôt est d'environ 15 mètres. On peut reconnaître l'origine de ces galets en remontant les vallées de la Durance ou du Rhône. Dans la vallée de la Durance, on voit des monticules isolés, formés de cailloux roulés, débris d'un plateau élevé d'environ 10 mètres au-dessus de la plaine, et dont on ne peut attribuer la formation aux causes actuelles. Ces monticules sont composés de cailloux roulés, réunis par un sable fin et micacé, et formant un poudingue pareil à celui qui constitue le fond de la Crau. On y reconnaît, de même que dans la Crau, des roches serpentineuses analogues à celles du mont Genèvre et des granites à feldspath rosé, identiques à ceux des hautes Alpes.

Des faits analogues se retrouvent dans la vallée du Rhône : les environs de Saint-Remi, d'Avignon, de Châteauneuf, de Montélimart, etc., présentent des amas de cailloux roulés qui constituent des plaines, des monticules, qui ne sont autre chose que le prolongement de la Crau, et l'on peut remonter ce courant de débris jusqu'aux blocs anguleux de la vallée du Drac.

Ainsi les Alpes apparaissent comme point de départ de

grands courants diluviens, dirigés dans tous les sens, et ces courants ont couvert tout le sol environnant de puissants dépôts arénacés, composés des débris des roches les plus résistantes. Les courants actuels ont ensuite creusé leur lit dans ces dépôts, de sorte que les alluvions actuelles sont dominées par des monticules et par de longues terrasses formées par les alluvions anciennes, qui se distinguent par leur niveau plus élevé, par les blocs très-volumineux qu'elles renferment et par la nature de ces blocs.

Ces nombreux courants, dont les Alpes sont évidemment le point de départ, furent-ils des courants réguliers dont les volumes d'eau devaient dépasser ceux de nos fleuves les plus considérables, ou bien leur action fut-elle énergique et passagère, telle qu'elle dut résulter de débâcles et d'épanchements plus ou moins prolongés de lacs étagés dans les vallées et les dépressions.

La dernière hypothèse est celle qui concorde le mieux avec les faits observés. La composition générale de ces dépôts puissants en galets de roches dures, empâtés dans un gravier sableux, indique en effet que les eaux avaient à la fois une impulsion violente et une grande force de suspension. La présence des énormes blocs dont ils sont souvent accompagnés, et que l'on a désignés sous le nom de *blocs erratiques*, est en harmonie avec cette explication. Il y a de ces blocs qui ont plus de 10 mètres de longueur et dont les angles sont à peine brisés : il s'en trouve surtout sur les pentes qui dominent le lac Majeur et le lac de Come, à la partie supérieure du vaste dépôt diluvien qui forme le sol du plateau faiblement incliné que l'on traverse en allant de Varèze à Milan, et en général dans les alluvions de la rive gauche du Pô. L'absence totale dans ces alluvions des débris organiques, qui auraient pu se développer même dans des eaux très-rapides, concorde pour annoncer une action énergique et passagère.

Les blocs erratiques sont généralement composés de roches dures ; leurs angles sont émoussés et leurs faces présentent quel-

quefois de grandes cassures. Bien qu'on en trouve sur des pentes fortement inclinées, cependant, la plupart du temps, leur position est telle, qu'on ne peut supposer leur transport que par l'intermédiaire d'un fluide doué d'une grande force vive. On rencontre ces blocs jusque sur les pentes du Jura, et les vallées qui ont été creusées depuis leur transport rendent leur position encore plus anomale.

Dans l'Europe septentrionale, les phénomènes alluviens prennent une physionomie nouvelle et semblent appartenir à des causes plus générales que celles auxquelles nous attribuons les alluvions des régions subalpines. Les blocs erratiques y sont en effet bien plus multipliés et dans des positions encore plus anomales : ces blocs, qui ont ordinairement plusieurs mètres cubes, se trouvent en quantité innombrable en Suède, en Russie, et généralement dans toutes les plaines basses et sablonneuses qui bordent la mer Baltique et même la mer d'Allemagne, depuis l'Ems et le Weser jusqu'à la Dwina et la Newa. Ils forment des traînées longitudinales, dont la direction est assez généralement nord-sud. On les voit au milieu des plaines sablonneuses saillir par gibbosités ellipsoïdales ; ils semblent ainsi arriver par troupes et suivre, à partir de la Baltique, des lignes qui se croisent quelquefois, mais toujours sous des angles aigus. Ce sont des roches anciennes et dures, telles que les granites, les syénites, les porphyres, les gneiss, etc. : aux environs de Groningue ils sont enfoncés dans le sable, où on les cherche avec la sonde afin de les exploiter ; vers Kœnigsberg, il en existe qui sont composés de calcaires à trilobites et orthocères.

La direction de leurs traînées et leur composition représentent ces blocs comme venant des montagnes de la Suède.

Ainsi, en Suède, les blocs erratiques abondent dans les provinces de Smoland, d'Upland, de Scanie et de Sudermanie, où ils forment des séries de collines dirigées du nord-nord-est au sud-sud-ouest, dont la disposition linéaire et le parallélisme sont frappants. Traversant la mer, on retrouve les mêmes blocs avec la même direction sur toutes les contrées littorales dans la

Digitized by Google

Zélande, la Poméranie, le Holstein, la Westphalie, etc., et jusque dans le Mecklembourg.

Toutes les chaines, tous les groupes de montagnes semblent ainsi avoir déversé les terrains alluviens autour d'eux, et généralement la puissance et l'étendue des alluvions sont en raison de la hauteur et de l'étendue des montagnes d'où elles sont parties. Il n'est guère de contrée, quelque éloignée qu'elle soit des chaines de montagnes, qui ne présente des dépôts alluviens ; mais ces dépôts sont défigurés et sans intérêt, parce qu'il est difficile de reconnaître leur point de départ ; à mesure que l'on s'approche d'un centre de soulèvement, ces alluvions prennent une physionomie spéciale et leur composition devient caractéristique. Les roches ignées y jouent souvent un rôle important, parce que ce sont généralement des roches dures et résistantes, et parce qu'elles caractérisent différemment les diverses contrées du globe. Ainsi les alluvions déversées par les groupes trachytiques et basaltiques du centre de la France ont une tout autre physionomie que celles que nous venons de décrire. Autour de ces montagnes, les blocs et les débris sont composés de roches bien caractérisées, et il est facile de reconnaître à quel point elles appartenaient, lors même qu'ils se trouvent dans les positions les plus anomales.

C'est que les inégalités d'un monde encore jeune n'étaient pas taillées pour une hydrographie régulière et paisible. Les eaux s'accumulaient dans les dépressions, s'étageaient sur les flancs de tous les centres de soulèvement ; puis, lorsque leur érosion et leur pression rompaient leurs digues, lorsque les commotions souterraines leur ouvraient des issues, ces eaux se ruaient en transportant les débris des roches placées sur leur passage, et laissaient comme monuments de ce passage non-seulement les dépôts alluviens, mais le sillonnement du sol, l'élargissement des irrégularités primitives, c'est-à-dire les vallées principales et l'introduction à l'hydrographie actuelle.

Les *tourbes* appartiennent généralement à la période alluviale et sont la dernière expression des phénomènes qui ont intercalé

Digitized by Google

des combustibles fossiles dans presque tous les dépôts sédimentaires. Elles forment des couches tantôt superficielles, tantôt recouvertes par des sables et des limons alluviens, et se trouvent principalement dans les vallées qui ont à la fois une grande section et peu de pente. Elles sont aussi très-développées dans les régions planes du littoral des mers, dans les deltas et les lagunes. On y distingue la tourbe mousseuse formée par la décomposition de végétaux herbacés, et la tourbe feuilletée qui comprend des débris de grands végétaux. La puissance de ces couches peut atteindre plusieurs mètres et leurs alternances se répéter plusieurs fois avec les sables et les limons.

Lorsque les courants diluviens ont agi sur des roches qui contenaient des gemmes, des minerais métallifères, ou des métaux natifs, ces courants ont effectué un lavage dont l'homme a tiré parti. En effet, les pierres gemmes (diamants, saphirs, spinelles, topazes, zircons, cymophanes....), étant plus dures que la plus grande partie des roches, ont pu résister à la trituration, de sorte qu'on peut aujourd'hui les exploiter par le lavage. Les minerais métallifères ont généralement moins résisté, parce que ce sont des substances aigres et qui ont peu de ténacité ; aussi, bien que les gisements détruits aient pu être très-considérables, les débris n'en sont exploitables que pour certaines espèces d'une dureté exceptionnelle, telles que l'oxyde d'étain, et surtout lorsque les alluvions ont été peu broyées et n'ont pas subi un transport très-éloigné. Les métaux natifs, au contraire, en vertu de leur malléabilité et de leur ténacité, ont pu résister à des frottements qui ont anéanti bien d'autres minéraux ; l'or et le platine sont dans ce cas.

C'est la destruction des puissantes masses quartzeuses des montagnes du Brésil qui paraît avoir produit les riches alluvions aurifères et gemmifères qui couvrent les grandes vallées et les plateaux peu élevés de la partie septentrionale du Brésil. Ces alluvions, qui se retrouvent en Colombie, renferment à la fois l'or, le platine, le palladium et les diamants. En Californie elles contiennent avec l'or du fer titané, des saphirs, des cymo-

phanes et des zircons. En Europe, les alluvions de beaucoup de cours d'eau contiennent des paillettes d'or, notamment celles du Rhône, de l'Arriége, du Rhin, etc.

Les alluvions qui couvrent les pentes des monts Altaï et de l'Oural sont exploitées pour l'or et le platine, dont on a trouvé de fort grosses pépites, et récemment on y a signalé la présence des diamants. Parmi les limons et les sables ferrugineux de ces alluvions, on remarque souvent des galets de trapp et de diorites, dont le gisement est très-bien connu dans les deux chaînes et qui paraissent renfermer au moins le platine.

Ces alluvions aurifères et gemmifères rentrent, sous le rapport du gisement, dans la classe générale; elles n'ont d'intérêt que par les substances particulières qu'elles renferment et dont elles ne représentent pas le véritable gisement géognostique, puisqu'elles les ont arrachées à des roches en place. Mais l'homme ne pourrait aller chercher, la plupart du temps, l'or dans ses guangues de quartz et le platine dans les grunstein; l'action des eaux, en effectuant le bocardage et un premier lavage, a rendu exploitables des substances qu'il n'aurait pu sans elle se procurer en quantité assez considérable.

Minerais de fer d'alluvion. — On comprend sous cette dénomination des minerais de fer hydroxydé qui se trouvent disséminés dans des couches argileuses, marneuses ou sablonneuses, très-rapprochées de la surface. Quelques-unes de ces couches ont été considérées comme tertiaires; la plupart appartiennent réellement à la période alluviale.

Le bassin argileux qui recouvre le terrain jurassique dans le Berry contient, notamment dans la vallée du Cher, des couches très-chargées de pisolites de fer hydroxydé, dont la proportion varie d'un dixième à un tiers. Ces pisolites sont tantôt disséminées dans la masse, tantôt réunies et agglutinées par un ciment ferrugineux ou calcaire; d'autres fois, ce sont au contraire des grains quartzeux, des nodules argileux réunis par un ciment d'hydroxyde assez abondant pour que la masse puisse être exploitée. Une partie des minerais superficiels du Nivernais, du

Digitized by Google

Bourbonnais, du Bas-Rhin, sont, comme les minerais du Berry, attribués à l'époque tertiaire; mais il est très-difficile de les distinguer des minerais alluviens, car, près de ces gîtes tertiaires, on trouve des gîtes alluviens provenant des mêmes éléments remaniés. Cette distinction présente d'ailleurs peu d'importance.

Les minerais alluviens sont, de beaucoup, les plus répandus et ceux qui alimentent le plus grand nombre d'usines. Ils comprennent d'abord les minerais des formations précédentes, et surtout ceux du terrain jurassique, transportés et remaniés par les eaux diluviennes; ils comprennent encore beaucoup de gîtes de fer hydroxydé pisiforme, géodique, etc..., qui paraissent avoir été formés sur les points qu'ils occupent par des sources minérales.

Le fer hydroxydé alluvien se distingue des minerais hydroxydés de la formation oolitique par la grosseur généralement plus grande des grains, et surtout par l'absence de stratification. Dans beaucoup de cas, le minerai n'est que le ciment qui lie des corps hétérogènes : telles sont les brèches à ossements diluviens qui sont quelquefois assez ferrugineuses pour être traitées. La fréquence des principes ferrugineux dans les brèches alluviales est d'ailleurs un fait remarquable; car non-seulement les brèches à ossements accumulés dans les cavernes présentent ce caractère, mais il a été très-souvent observé dans les alluvions aurifères et gemmifères des Indes et de l'Amérique méridionale.

Il est difficile d'assigner aucune loi de gisement aux minerais d'alluvion, mais leur position superficielle en rend la recherche facile. Les minerais remaniés se trouvent souvent dans les mêmes contrées que les minerais intercalés, et les maîtres de forges n'établissent aucune distinction entre les minerais alluviens et les minerais jurassiques ou tertiaires superficiels. Les minerais remaniés se distinguent assez facilement, en ce que les géodes et les concrétions y sont brisées; on y rencontre des fossiles antérieurs à l'époque alluvienne, défigurés, roulés, mélangés de coquilles diluviennes et d'ossements de mammifères.

Digitized by Google

Enfin, on les voit reposer indistinctement sur tous les terrains, à des niveaux variables, couvrant les pentes, remplissant des dépressions, des anfractuosités, sans lignes de stratification bien déterminées.

La figure 24 met en évidence une forme très-fréquente dans les minerais alluviens que l'on trouve ainsi déposées dans les

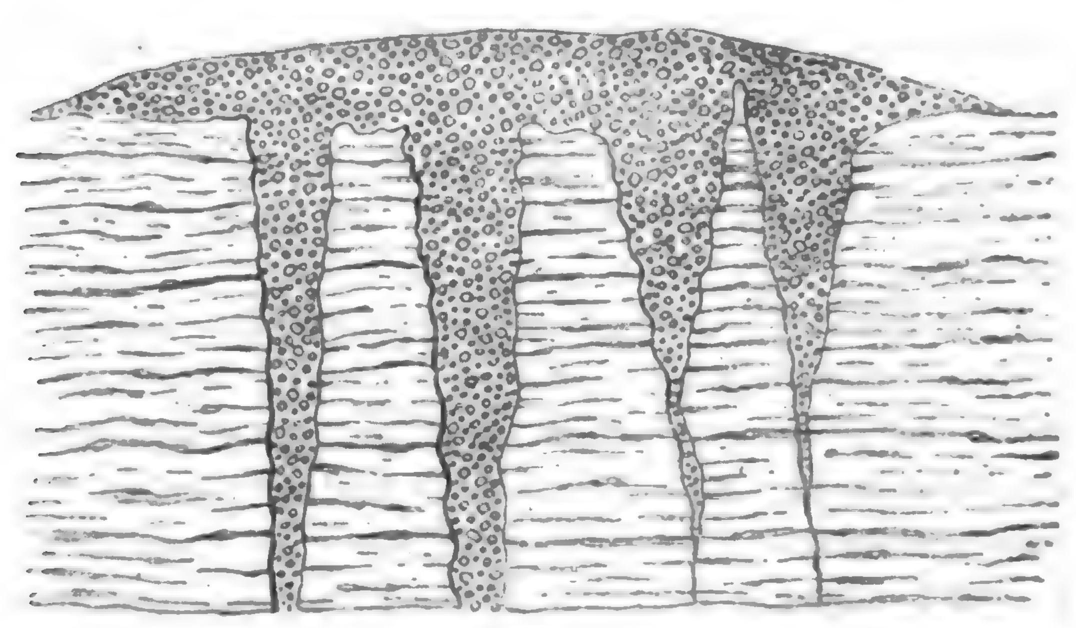


Fig. 24.

fentes et les anfractuosités des roches préexistantes, et sans relations déterminées avec les dépôts alluviens ordinaires. D'autres fois, au contraire, le minerai, disséminé dans des couches marneuses ou sableuses, forme des couches régulières qui semblent faire partie intégrante du terrain alluvien, quoiqu'elles n'en aient pas la continuité.

Les districts où les minerais de fer alluviens se montrent sur la plus vaste échelle de développement et où ils ont donné naissance au plus grand nombre d'usines, sont en France (voir la carte à la fin du volume) :

1° Celui qui, vers la frontière, est compris entre la Sambre et la Moselle, et dont les minerais alimentent les fourneaux des Ardennes, de la Meuse et de la Moselle. Ce sont des hydroxydes

Digitized by Google

en grains arrondis, en rognons, en géodes et en plaquettes, disséminés dans les sables qui recouvrent le terrain jurassique. Les gîtes de Saint-Pancré et d'Aumetz fournissent des minérais de qualité supérieure.

2° La plupart des gîtes du Bas-Rhin, qui consistent en argiles et sables alluviens contenant des fers carbonatés en décomposition et des minerais tertiaires remaniés.

3° Une partie des minerais superficiels du Jura, disséminés sur les plateaux, sur les pentes et dans les pentes du calcaire. L'origine alluviale de ces gîtes est démontrée par la présence des débris organiques qui caractérisent cette époque; les minerais, souvent accumulés dans les cavernes, ont, comme elles, la forme de longs boyaux sinueux, ayant, en moyenne, 10 à 12 mètres carrés de section transversale, et présentant, dans le sens de la stratification, des séries de renflements et d'étranglements. Ils sont souvent mis en rapport avec la surface du sol par des cheminées ou colonnes verticales de minerai ayant 6 à 8 mètres de section, orifices qui ont probablement servi à les remplir.

4° Les minerais oolitiques disséminés dans les marnes superficielles des environs de Châtillon-sur-Seine, et quelques gites à pisolites et géodes du Nivernais.

5° A cette époque appartiennent encore tous les hydroxydes en fragments, en masses compactes fibreuses, mamelonnées, disséminées dans les argiles superficielles de la Charente, de la Dordogne, de Lot-et-Garonne, du Lot et de Tarn-et-Garonne, représentant le groupe des minerais du Périgord. Ces minerais alimentent exclusivement toutes les forges du pays. Les exploitations sont ordinairement à ciel ouvert et descendent jusqu'à 20 mètres de profondeur; les minerais obtenus sont assez riches et d'assez bonne qualité pour être traités par la méthode catalane.

6° Les sables alluviens des Landes, qui contiennent de petits gîtes très-nombreux d'hydroxydes en grains libres ou agglutinés par un ciment de même nature. Ces grains forment, par leur

Digitized by Google

réunion, des rognons, des plaques mamelonnées, disséminées dans les sables. On a remarqué qu'au milieu des agglomérations de ces hydroxydes tout à fait superficiels on trouvait très-fréquemment des débris végétaux qui paraissent avoir été le centre des précipitations. Des minerais analogues et cloisonnés pénètrent les parties argileuses des landes. Enfin, au-dessous de cette formation sableuse si récente se trouve la couche argileuse qui retient les eaux dans les landes et qui est pénétrée elle-même en beaucoup de points d'hydroxyde de fer en plaquettes, géodes, etc. Tous ces minerais sont exploités et alimentent un assez grand nombre de hauts fourneaux.

On voit, en résumé, que l'époque alluviale fut marquée, en France, par la génération d'une grande quantité d'hydroxydes de fer. Sans doute, bon nombre de gîtes, surtout dans les régions du Jura, du Bas-Rhin, de la Côte-d'Or, doivent leur existence au remaniement de gîtes préexistants ; mais cependant la majeure partie doit être attribuée à l'action de sources contemporaines. Le tiers environ des hauts fourneaux de France est alimenté par les minerais alluviens.

Digitized by Google

CHAPITRE VI

TERRAINS ÉRUPTIFS. — SOULÈVEMENTS.

Les terrains éruptifs présentent un double intérêt, d'abord comme parties constituantes de l'écorce terrestre, et en second lieu comme ayant déterminé, par leur sortie, les traits les plus caractéristiques de la structure et de la configuration du sol.

L'origine d'une roche éruptive, refroidie et cristalline, et dont les actions atmosphériques ont plus ou moins altéré les formes, ne peut guère être démontrée que par les analogies que peuvent présenter sa composition et ses formes avec la composition et les formes des masses minérales produites sous nos yeux par les phénomènes volcaniques. La description des terrains sédimentaires nous a laissés dans l'étude des actions actuelles; commençons l'examen des roches éruptives à partir des phénomènes les plus modernes. Cette classification aura l'avantage de procéder du connu à l'inconnu et de ne pas interrompre la série des âges géognostiques que nous venons de descendre en suivant les actions des eaux, et que nous remonterons en suivant les actions volcaniques.

Nous avons indiqué la division en trois terrains principaux, qui sont les terrains *volcanique*, *porphyrique* et *granitique*, et qui correspondent à peu près aux trois grandes périodes tertiaires, secondaires et de transition. Ce parallélisme est loin d'être absolu, mais il exprime les relations géognostiques de la plus grande partie des roches éruptives.

Indépendamment de ces divisions principales, les différences minéralogiques des roches établissent des subdivisions en formations successives, dont le tableau ci-après indique les conditions générales de composition et de gisement.

Digitized by Google

TABLEAU GÉOGNOSTIQUE DES TERRAINS ÉRUPTIFS.

	ROCHES.	MINÉRAUX CONSTITUANTS.	CONDITIONS PRINCIPALES DE GISEMENT.
Terrain volcanique.	LAVES Scories et cendres.	*Labrador*, *anorthite*. *Pyroxène*.	Volcans brûlants. Volcans éteints, cônes à cratères, laves cellulaires postérieures aux terrains tertiaires supérieurs.
	BASALTES Scories, Vackes.	*Labrador*, *amphigène*, *zéolithes*, *analcime*. *Pyroxène*, *péridot*, *fer oxydulé*.	Dykes, coulées démantelées couvrant des plateaux étendus, laves columnaires. Émis depuis les terrains tertiaires jusqu'aux alluvions anciennes.
	TRACHYTES phonolites obsidiennes et ponces	*Orthose vitreux*, *ryaçolite*. *Amphibole*.	Dômes élevés, dykes, accumulations montagneuses dans lesquelles les trachytes alternent avec des tufs, des brèches et conglomérats trachytiques. Correspondent à la période tertiaire.
Terrain porphyrique.	OPHITES.	*Amphibole*, *lerzolite*.	Masses soulevantes et dykes, ayant fait éruption dans les Pyrénées entre les calcaires nummulitiques et l'argile plastique.
	SERPENTINES Euphotides, Gabbros.	*Serpentine*, *diallage*, *stéatites*, *jades*.	Masses accompagnées de gabbros et de conglomérats ophiolitiques, postérieures dans les Apennins et les Alpes aux macignos de la craie.
	TRAPPS mélaphyres. Grunsteins, amphibolites amygdaloïdes.	*Pyroxène*, *amphibole*, *labrador*, *olygoclase*, *orthose*.	Coulées, dykes et masses enchevêtrés dans les îles britanniques, dans le Palatinat, le Nassau, le Hartz, etc., entre la période tertiaire et les grès pénéens.
	PORPHYRES *feldspathiques*. Eurites, Petrosilex. PORPHYRES *quartzifères*.	*Orthose*, *albite*, *olygoclase*. *Amphibole*. *Quartz*, *mica*.	Masses montagneuses, dykes puissants, dans les Vosges, aux environs de Roanne, dans l'Erzgebirge, etc., antérieures aux grès pénéens. Les éruptions sporadiques de ces roches se sont continuées pendant toute la période secondaire.
Terrain granitique.	DIORITES. SYENITES. PROTOGINES. GRANITES.	*Orthose*, *albite*. *Quartz*. *Mica*, *amphibole*, *talc*.	Masses éruptives et soulevantes contemporaines du terrain de transition; dans les Alpes elles se sont prolongées jusqu'à la période jurassique et dans l'île d'Elbe elles sont postérieures aux terrains crétacés.

Digitized by Google

TERRAIN VOLCANIQUE

Le terrain volcanique commence aux masses formées sous nos yeux par les deux ou trois cents bouches volcaniques qui existent à la surface du globe, et se continue en remontant les âges géologiques, par une série de roches qui se lient à ces masses par les analogies de leur composition, de leur mode d'éruption et de leur groupement géographique.

Ainsi les contrées volcaniques actuelles, lorsque l'on considère, non plus seulement les cônes éruptifs, mais tout l'ensemble montagneux dont ils font partie, présentent en général le groupement de trois formations distinctes. Ce sont :

1° Des laves et des accumulations scoriacées analogues à celles des éruptions actuelles, roches pyroxéniques ou feldspathiques, caractérisées par une texture cellulaire et un peu spongieuse, par des minéraux accidentels particuliers, et surtout par les formes sous lesquelles elles se présentent (montagnes coniques à cratères, ayant rejeté et rejetant par ces cratères ou par des bouches latérales des scories, des cendres, des pozzolanes, des vapeurs, et déversant des coulées de lave qui ont labouré les pentes en formant des bandes longues et étroites).

2° Des basaltes, roches pyroxéniques, dont le basalte est le type, et auxquelles l'abondance du pyroxène, la texture compacte, la fréquence du péridot, les structures pseudo-régulières, donnent une physionomie toute spéciale : les formes de nappes étendues, de dykes, de masses isolées, indiquent des circonstances d'éruptions différentes de celles qui ont présidé à la génération des roches laviques ; les scories, les pozzolanes et les cendres, ainsi que les cratères d'éruption, y sont en effet plus rares.

3° Des trachytes, roches feldspathiques à feldspath vitreux, accumulées en groupes montagneux, constituant des cimes élevées, sans cratères d'éruption et dont les circonstances d'émis

sion paraissent encore distinctes de celles des roches basaltiques ou laviques.

Ainsi considéré dans son ensemble et non plus dans l'isolement des actions actuelles, le terrain volcanique devient un élément important de l'écorce terrestre, et sa distribution sur la surface de cette écorce présente même quelques rapports intéressants avec sa structure et sa configuration.

Les terrains volcaniques forment en effet des groupes ou des chaines de montagnes dont la position est presque toujours liée aux accidents les plus prononcés de la surface. Théoriquement, on s'explique assez facilement cette liaison des éruptions causées par les forces expansives de l'intérieur du globe avec les fractures et les inégalités préexistantes de la surface.

La position d'un volcan qui tend à se former étant déterminée par les conditions de résistance de l'écorce solide du globe, les points qui présenteront le moins de résistance seront généralement situés dans une fracture préexistante ou dans son prolongement. Une première fracture étant formée dans le sens où les couches solides avaient le plus de facilité à se fendre, lorsqu'une seconde se formera à travers les mêmes couches, elle tendra à suivre une direction parallèle à celle de la précédente. De là cette tendance des masses volcaniques à s'aligner, tendance qui se manifeste non-seulement par leur position relative, mais aussi par leur forme très-souvent allongée dans le sens de la direction générale. Ces alignements linéaires s'expliquent par les conditions de solidité des couches superficielles, qui assignent à un volcan une position subordonnée aux fractures préexistantes; de là aussi le parallélisme des masses volcaniques lorsqu'elles forment plusieurs alignements, parallélisme qui résulte à la fois de la parité des circonstances de solidité des couches résistantes et de celle des efforts expansifs.

Le cas où l'action volcanique tend à s'exercer suivant une ligne droite doit être le plus ordinaire, parce qu'une paroi solide telle que l'écorce du glo! e a nécessairement une tendance à

Digitized by Google

se fissurer. Dès lors les émissions de laves auront lieu sur les divers points de ces fissures, et l'on s'explique l'existence des alignements de masses volcaniques dont le globe terrestre est en quelque sorte sillonné.

L'énumération des volcans en séries linéaires comprend en effet la presque totalité des masses volcaniques du globe, et cette tendance à la disposition linéaire est telle, que les volcans isolés ou groupés qui semblent les plus indépendants sont en réalité liés entre eux par des points volcaniques intermédiaires reconnus ou dont on peut certainement supposer l'existence. C'est ainsi que l'on peut considérer les Açores, les Canaries, les îles du cap Vert comme constituant un système volcanique linéaire avec les îles de Sainte-Hélène et de l'Ascension. Il en est de même des masses volcaniques du nord de l'Irlande, des Hébrides et des îles Féroë et de l'Islande, qui appartiennent à une même zone.

La connexion qui existe entre toutes les masses volcaniques sera bien plus apparente si on les trace sur une mappemonde; alors rien n'est isolé, rien n'est anomal. Toutes les séries sont généralement réunies par des points intermédiaires, de sorte que l'ensemble des fractures qu'elles constituent représente des lignes brisées, inégalement réparties sur la surface du globe.

Si l'on compare ces lignes volcaniques avec celles qui forment les traits caractéristiques de la configuration actuelle du globe, traits qui sont indiqués, d'un côté par les chaînes des montagnes qui le sillonnent, de l'autre par les contours des continents et des îles qui représentent les lignes d'intersection des inégalités de la surface terrestre avec l'horizon régulier de la surface des mers, on arrive à reconnaître que la distribution des masses volcaniques n'est pas arbitraire et qu'il existe des relations fixes entre cette distribution et la configuration du globe.

Et d'abord, quels sont les points où l'action volcanique semble la plus fréquente et la plus énergique? En considérant non-seulement les volcans en activité, mais toutes les émissions du ter-

rain volcanique, on reconnaît que la tendance générale des premiers à se trouver sur les côtes maritimes ou dans des îles existe également pour l'ensemble du terrain. Ainsi presque toutes les grandes séries volcaniques sont formées par des îles (sauf celles des Andes Cordillères). Les îles qui bordent le continent africain et qui présentent les plus grandes accumulations des trois formations volcaniques viennent encore à l'appui de ce principe, confirmé en Europe par nos volcans méditerranéens, placés dans des îles ou sur le littoral.

Les exceptions qui résultent de la position des terrains volcaniques de la France centrale, des bords du Rhin, de ceux que l'on a signalés dans les parties centrales de l'Asie et des grands cônes qui surmontent les Andes Cordillères, suffisent pour démontrer que la loi n'est pas générale et que toute hypothèse qui attribuerait d'une manière absolue les actions volcaniques à l'influence des eaux de la mer serait incompatible avec les faits; mais elles ne peuvent infirmer la tendance des terrains volcaniques à se trouver dans l'intérieur des mers ou sur les côtes.

Que l'on compare la profusion des masses volcaniques dans l'intérieur et autour de la Pacifique avec leur rareté dans l'intérieur de l'Asie ou des Amériques, et l'on en déduira que la distribution des terrains volcaniques paraît assujettie à deux lois : tantôt ils sont développés en raison de l'absence des terres continentales, c'est-à-dire qu'ils semblent faire équilibre au non-exhaussement de la croûte du globe; tantôt ils sont disposés parallèlement aux saillies continentales, dont ils paraissent dessiner les contours, c'est-à-dire qu'ils se sont formés sur les lignes de fracture des soulèvements.

C'est ainsi que les Antilles volcaniques se trouvent précisément là où il y a interruption continentale, puisque l'Amérique se trouve réduite à l'isthme de Panama : elles compensent évidemment cette interruption par leur présence et représentent peut-être en force volcanique dépensée une somme égale à la force expansive qui aurait suffi à l'exhaussement de la continua-

tion de la zone continentale. L'Islande, la plus grande accumulation connue de matières volcaniques, doit également représenter en force dépensée de quoi compenser une grande partie de la dépression comprise entre les pointements nord-ouest de l'Europe et le Groënland.

Quant à la loi de parallélisme des terrains volcaniques aux lignes de côtes des continents, citons la rangée volcanique de Java, de Sumatra et des îles Adaman, qui forme une ligne parallèle à la rangée des montagnes primitives et secondaires de Bornéo, de la côte nord de Sumatra, de la péninsule Malaga et de l'empire des Birmans; citons également le district volcanique linéaire de l'Italie, qui semble sortir de dessous l'escarpement parallèle des Apennins. La position des basaltes des Hébrides et du nord de l'Irlande en regard des escarpements occidentaux de l'Écosse, la situation des régions volcaniques de l'Ionie et de la Mysie sur le front du grand promontoire de l'Asie Mineure, sont des exemples confirmateurs que l'on pourrait encore multiplier. Les groupes volcaniques des Açores, de Madère, des Canaries, du cap Vert, les îles de l'Ascension, de Sainte-Hélène, de Tristan d'Acunha, de Marion, de Bourbon et de France, forment une ceinture très-incomplète, il est vrai, autour de l'Afrique, mais que, vu son éloignement des côtes, l'on peut considérer comme complétée par des masses sous-marines.

Les principales émissions volcaniques ont ainsi des relations incontestables de gisement et de parallélisme avec les chaînes de montagnes qui sillonnent la croûte du globe.

Formation lavique. — Cette formation comprend à la fois les volcans actifs et les volcans éteints, c'est-à-dire des cônes à cratères qui ont déversé autour d'eux une quantité plus ou moins grande de laves et de matières scoriacées ou pulvérulentes.

En France, la formation lavique est représentée par des volcans situés dans les provinces de l'Auvergne, du Velay et du Vivarais, et principalement par environ cinquante cônes volcaniques, alignés sur le plateau granitique qui domine la ville de

Clermont du côté de l'ouest. Ces cônes sont tous composés de scories et de pozzolanes; ils se sont évidemment formés sur une longue fissure dirigée du nord au sud. Beaucoup ont fourni des courants de laves. La hauteur de ces cônes, qui présentent pour la plupart un cratère, quelquefois plusieurs, varie de cent à deux et trois cents mètres. (Il ne faut pas confondre avec eux quatre dômes préexistants, qui appartiennent à la formation trachytique et dont le Puy-de-Dôme fait partie.) La chaine que constituent ces montagnes volcaniques est désignée sous le nom de chaine des Puys ou des Monts-Dômes; elle a trente kilomètres de longueur.

Tous les cônes d'éruption de cette chaine représentent des phénomènes analogues, ils ne diffèrent que par leur volume, qui est proportionnel à la durée et à l'intensité des émissions de scories et de pozzolanes, et par les détails de leur forme, qui résultent de la position et de la forme des orifices d'éruption. Une partie des cônes à cratères qui ont fourni des laves ont été oblitérés par la sortie de cette lave, ainsi que l'indique la planche VI, qui représente quelques-uns des cônes de la partie méridionale de cette chaine.

Les laves de la chaine des Puys sont feldspathiques ou pyroxéniques; elles se distinguent facilement par leur texture cellulaire et poreuse, grenue et cristalline, des laves feldspathiques et pyroxéniques des formations basaltique ou trachytique qui se présentent comme elles sous forme de coulées. Les laves pyroxéniques de ces volcans contiennent en quelques points seulement du péridot; leur caractère le plus saillant est l'irrégularité de la surface, hérissée d'aspérités formées par les entassements de blocs anguleux. Ces aspérités, accolées dans le plus grand désordre, présentent un aspect analogue à celui des grands cours d'eau, lorsque les masses amoncelées de glaces qu'elles charrient sont arrêtées dans leur course; aussi la plupart de ces laves forment-elles des déserts difficiles à parcourir et connus sous le nom de *cheires*. On attribue ces aspérités à des explosions gazeuses, résultant de ce que la lave serait sortie du cratère

Digitized by Google

Pl. VI

Vue des [illegible]
de la partie méridionale de la Chaîne des Puys
Auvergne

Page [illegible]

chargée de beaucoup plus de gaz que n'en pourraient contenir les cellules qu'elle présente actuellement; ces gaz se seraient dégagés avec violence pendant le trajet de la lave et en auraient bouleversé, par leurs explosions, la surface déjà durcie.

La conservation parfaite des volcans de la chaîne des Puys, la facilité avec laquelle on suit tous les accidents de leurs éruptions, la superposition fréquente de leurs laves aux coulées basaltiques, et les distinctions minéralogiques qui résultent de la texture et de la composition de ces laves, suffisent pour établir à la fois leur postériorité à la formation basaltique et leur âge très-récent. Cette conservation a quelquefois porté à considérer l'époque de leur activité comme trop rapprochée de nous. La position de ces volcans est telle, en effet, qu'ils ont pu échapper à l'action érosive des eaux; mais, lorsque leurs laves sont descendues dans des vallées et sont venues y subir l'action érosive des cours d'eau, les traces des érosions produites ont suffi pour reporter la date des éruptions bien au delà des temps historiques. Ainsi, lorsque la lave de Côme barra l'ancien lit de la Sioule, les eaux durent s'accumuler au niveau de la lave; mais une colline argileuse, cédant à la pression, fut creusée à une profondeur de près de cent mètres. De même, la lave de Vichatel barra le lit de la Mone, en s'appliquant contre une colline tertiaire qui fut entamée et creusée à une grande profondeur. Il n'est guère possible d'établir des calculs approximatifs pour déterminer quel temps il a fallu à ces cours d'eau pour creuser leurs nouveaux lits, mais il suffit d'étudier les lieux pour se convaincre qu'il fallut un plus long laps de temps que celui dont l'histoire nous a conservé le souvenir. D'un autre côté, ces barrages ont résisté à l'érosion lorsque les laves ont coulé sur des roches solides, et cette considération établit une grande distinction d'âge avec les éruptions basaltiques qui ont eu lieu, non loin de là, dans le bas Vivarais, dans des circonstances analogues; car depuis l'émission de ces basaltes, les plus récents de la France centrale, des barrages plus solides que ceux qui ont donné naissance aux lacs d'Aidat et de Chambon ont été rompus et profondément entamés.

Digitized by Google

Sur les bords du Rhin, la province de l'Eiffel présente à la fois des volcans laviques et des volcans basaltiques, et la distinction entre les uns et les autres est souvent très-difficile à établir. L'ensemble de la contrée volcanique, limitée par le Rhin, la Moselle, les Ardennes et les plaines de Cologne, présente d'abord un aspect en harmonie avec les phénomènes laviques les plus ordinaires; des montagnes coniques, composées de déjections et surmontées de cratères, ont déversé autour d'elles des coulées de laves cellulaires. Mais des accidents particuliers du sol varient cet aspect : ce sont des dépressions circulaires, de vastes enfoncements cratériformes, qui ne se présentent plus sur des éminences coniques, mais qui sont creusés au niveau même des plaines et des plateaux de schiste argileux, grauwacke ou calcaire, qui constituent le sol de la contrée. Quelques-unes de ces dépressions cratériformes ont près de 4 kilomètres de diamètre. Les eaux s'y sont naturellement rassemblées, et il en est résulté des lacs circulaires, désignés dans le pays sous le nom de *Maars*. La surface de ces dépressions est généralement couverte de scories libres et de fragments calcinés, plus ou moins altérés de roches dans lesquelles elles sont creusées (le plus souvent la grauwacke), de sorte qu'elles semblent représenter des cratères formés par des éruptions gazeuses très-violentes, et constituer ce que l'on a appelé des cratères d'explosions.

Steininger, géologue de Trèves, divise les cratères de l'Eiffel en trois classes : la première renferme ceux qui n'ont pas rejeté de produits volcaniques et semblent ainsi formés par simple explosion. Les principaux sont : le lac de Laacher, celui d'Ulmen, trois lacs à Daun, deux à Gillenfeld, un à Bettenfeld, un à Dockweiler, un à Walsdorf, un à Marsburch. La seconde classe comprend les cratères qui ont rejeté des fragments scorifiés, incohérents ou cimentés : ce sont trois cratères de Gillenfeld, deux de Bettenfeld, un de Gérolstein, un de Steffler, deux à Boos, un à Rolandseck. La troisième classe renferme les volcans qui ont produit des courants de laves aussi bien que des déjections incohérentes, tels que ceux de Bertrich, celui de Bettenfeld (le

Mosenberg), ceux d'Itterdsorf et d'Ettingen. La totalité des cratères de l'Eiffel s'élève à près de trente.

Formation basaltique. — Le basalte, lave pyroxénique, généralement noire et compacte, est la roche dominante et souvent même la seule roche de cette formation. Les dolérites, les vackes, les scories, pozzolanes et cendres pyroxéniques, les brèches ou tufs et les pépérinos basaltiques modifient assez souvent, il est vrai, l'aspect uniforme et les phénomènes peu variés qui résulteraient de la présence exclusive du basalte, quelque diverses que puissent être les formes qu'il affecte; mais le développement de ces autres roches est loin d'être constant. La dolérite et la vacke n'apparaissent qu'assez rarement, et seulement en certains points des contrées basaltiques; les déjections ne prennent de l'importance que dans la partie récente de la période, soit que leurs éruptions n'aient été très-abondantes que vers cette époque, soit que les plus anciennes aient été détruites; enfin, les roches d'agrégation, quoique très-développées dans certains districts, sont encore moins constantes que les déjections.

Le basalte, qui forme ainsi le trait caractéristique de la formation, y constitue, avec la dolérite, ce qu'on peut appeler les roches-laves. Ces laves se présentent sous des formes très-variées : en masses isolées, coniques, qui semblent résulter tantôt de l'accumulation d'un fluide pâteux, au-dessus de son orifice d'éruption, tantôt de la dislocation d'une nappe ou coulée dont l'étendue et la continuité sont variables, et qui couvrent le plus souvent de vastes plateaux; en filons ou dykes, dont la puissance varie depuis 10, 20 mètres et plus jusqu'à des veines de quelques décimètres.

Ces trois formes d'émission (masses accumulées sur place, coulées ou nappes et filons ou dykes) n'appartiennent pas seulement aux basaltes, ce sont celles de toute matière fluide, poussée de bas en haut, traversant la croûte solide du globe et venant s'épancher à sa surface; c'est l'abondance des matières gazeuses, et, par suite, des déjections dans les éruptions lavi-

Digitized by Google

ques, qui, en assujettissant les laves modernes à un mode d'épanchement particulier, a empêché ces formes de s'y dessiner nettement. Les formes des basaltes se retrouvent d'ailleurs dans tous les autres terrains ignés; mais des caractères spéciaux les rendent ici plus faciles à saisir que dans toute autre formation, et permettent de mieux apprécier les détails géogéniques des éruptions.

C'est d'abord la structure si souvent pseudo-régulière des basaltes, et, en second lieu, l'écartement et l'isolement des points d'éruption. Nous avons vu, en effet, les produits laviques tendre généralement à s'entasser autour d'un même orifice par des éruptions intermittentes. Les basaltes semblent, au contraire, affecter une tendance continuelle à se disséminer. Les orifices d'émission, liés uniquement par des relations de direction, sont éparpillés, de sorte que les matières émises ne constituent point ces accumulations et ces groupes montagneux qui représentent des éruptions puissantes et multipliées par un même orifice. Un cratère basaltique présente quelquefois les traces de deux éruptions, très-rarement de trois; la plupart du temps il n'en a eu qu'une seule.

Un des caractères les plus frappants des basaltes est leur structure souvent prismatique (fig. 25). Généralement, la structure d'une lave résulte des fissures de retrait formées par le refroidissement; et l'on doit prévoir que, s'il existe des lois qui déterminent la direction de ces fissures, elles auront plus régulièrement suivi leur marche, et seront, par conséquent, plus faciles à constater dans une lave homogène et à grain très-fin que dans toute autre. Or les laves basaltiques sont celles qui réunissent au plus haut degré ces deux conditions. Aussi les structures prismatique, tabulaire, globulaire, qui ne sont qu'ébauchées dans les laves modernes, apparaissent-elles avec une netteté toute caractéristique dans les basaltes. Les colonnades prismatiques (fig. 26),

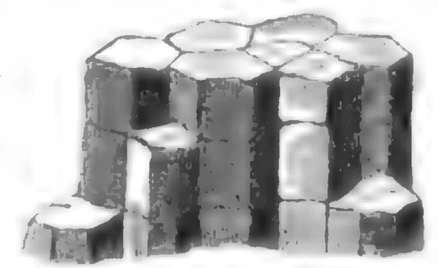


Fig. 25.

vulgairement appelées chaussées ou pavés des géants, sont devenues célèbres dans toutes les contrées basaltiques (France centrale, bords du Rhin, Hébrides, Islande, etc...).

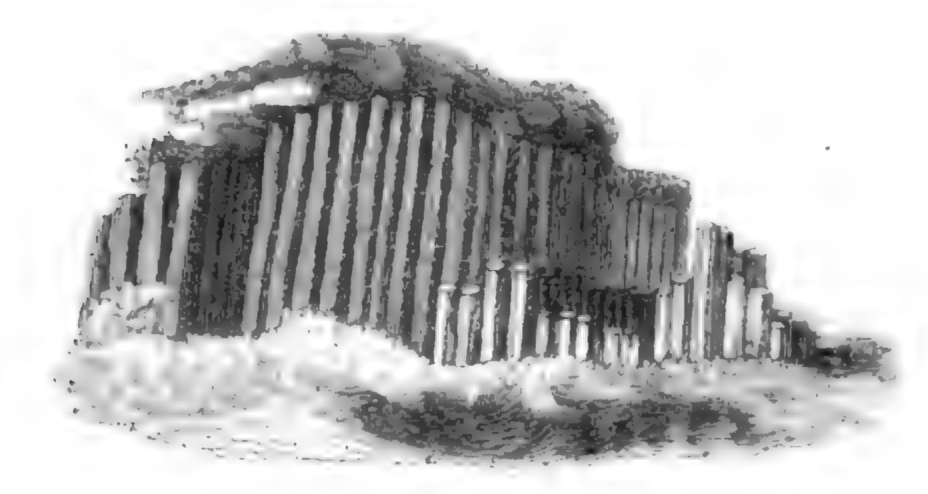


Fig. 26.

Ces colonnades sont formées de prismes pseudo-réguliers ayant généralement cinq et six pans, et dont la disposition parait perpendiculaire aux surfaces de refroidissement.

La France centrale présente deux séries d'émissions basaltiques : d'une part, celle du Velay et du Vivarais; de l'autre, celle de la haute et basse Auvergne. Dans ces deux régions, les éruptions basaltiques ont eu lieu simultanément et parallèlement; mais, dans le Velay et le Vivarais, elles se sont succédé sur une échelle très-puissante, et, pour ainsi dire, sans aucune interruption, pendant toute la durée de la période, de sorte que cette formation peut être présentée comme le type le plus complet.

Cette formation type se compose de cinq systèmes distincts, réunis entre eux par des relations de position et d'attenance géographique, de parallélisme, de composition minéralogique. Ce sont, en suivant l'ordre géognostique probable : 1° les volcans basaltiques modernes du bas Vivarais, placés au pied de la fracture de soulèvement du sol primitif, fracture qui sépare nettement le bas et le haut Vivarais par un relèvement escarpé de

plusieurs centaines de mètres; 2° la chaîne occidentale du Velay, qui limite la vallée de la Haute-Loire à l'ouest, et la sépare de la haute vallée de l'Allier, depuis Pradelles jusqu'à Paulhaguet; 3° la chaîne intermédiaire, parallèle à la précédente, qui traverse le bassin elliptique de la Haute-Loire et en forme le grand axe depuis les volcans de Bauzon et du Pal jusqu'à celui de Bar, près Allègre; 4° la chaîne des Coyrons, dirigée du sud-est au nord-ouest, depuis les sommités de l'Escrinet jusqu'à Rochemaure et Montélimart sur le Rhône; 5° la chaîne orientale du Velay, parallèle à la chaîne occidentale, et principalement composée de roches appartenant à la formation trachytique, mais dans laquelle se trouvent beaucoup de basaltes, les plus anciens de la contrée, et qui se lient à ceux des Coyrons.

Lorsque l'on a successivement étudié ces cinq systèmes basaltiques, beaucoup d'éléments de classification se présentent pour distinguer les relations géognostiques de chacun. 1° La composition, qui, depuis les basaltes les plus anciens jusqu'aux plus modernes, se montre assujettie à des lois de modifications graduelles; 2° les formes extérieures, qui annoncent des modes d'émission très-différents, la configuration des masses basaltiques étant également assujettie à une série de modifications qui permettent de reconnaître leur âge relatif; 3° la position de ces masses relativement aux vallées principales et aux cours d'eau actuels, et les altérations qu'ont pu subir, de la part des agents atmosphériques, leurs configurations primitives.

Dans la formation qui nous occupe, et en général dans toutes les contrées basaltiques, on peut distinguer au moins quatre variétés de basaltes compactes: 1° le basalte *porphyroïde*, à pâte de basalte noir et compacte, parsemé de cristaux de pyroxène et renfermant généralement du péridot très-disséminé; ce basalte est remarquable par sa dureté et sa ténacité (sauf les cas de décomposition), il est rarement bulleux ou scorifié; 2° le basalte *variolitique*, caractérisé par les petits noyaux ou particules de chaux carbonatée ou de substances zéolitiques dont il

Digitized by Google

est criblé ; la pâte basaltique est plus ou moins compacte, plus ou moins grenue, quelquefois rougeâtre ; 3° le basalte *feldspathique*, essentiellement homogène, dur, tenace, gris, peu péridotique et passant souvent aux roches feldspathiques par une texture finement écailleuse ; 4° le basalte *pyroxénique*, basalte noir, beaucoup plus cristallin que le précédent, souvent cellulaire et bulleux comme les laves modernes, abondant en péridot disséminé et en noyaux d'olivine.

Les dolérites sont rares en France et pourraient constituer une cinquième variété de lave basaltique, que l'on pourrait désigner sous la dénomination de basalte cristallin. On doit ajouter encore à cette série de roches basaltiques les vackes, dont l'origine paraît souvent analogue.

Les substances disséminées dans ces roches sont assez nombreuses : ce sont le péridot, le pyroxène, le feldspath-labrador, l'amphibole, le fer titané, la chabasie, la néphéline, la mésotype, la chaux carbonatée, l'arragonite.

Ceux qui n'observeraient que les basaltes de la France seraient certainement conduits à regarder le péridot comme principe constituant et essentiel de cette roche. Il y abonde, disséminé en petits fragments vitreux et cristallins, d'un vert plus ou moins foncé (Laussone), quelquefois même en cristaux très-bien formés; il se trouve en outre en noyaux arrondis d'olivine, d'une teinte plus claire que le péridot disséminé, et dont le diamètre varie depuis un centimètre jusqu'à plusieurs décimètres; enfin, au volcan de Bar, près Allègre, qui a rejeté une grande quantité de ces noyaux d'olivine, on trouve en outre des fragments de péridot vert sombre, vitreux, translucide, homogène et susceptible d'être taillé. La cassure des noyaux d'olivine est ordinairement granulaire. Les grains, d'un vert clair, sont mélangés d'autres grains également vitreux, d'un vert-bouteille. Par la décomposition, ce péridot s'irise, devient rouge et perd souvent toute consistance.

Les formes des masses basaltiques conduisent généralement à reconnaître leur mode d'émission.

Digitized by Google

Les volcans basaltiques du bas Vivarais se présentent absolument dans les mêmes conditions que les volcans laviques, si ce n'est que les laves vomies sont des basaltes. Ces laves ont occupé les lits des cours d'eau actuels, qui s'en sont creusé de nouveaux entre le basalte et le granite : ce sont les escarpements verticaux résultant de ces érosions qui offrent des colonnades si belles et si variées. Les orifices d'émission, auxquels on arrive en suivant les coulées, présentent la forme de cônes à cratères plus ou moins élevés. Les scories, les pozzolanes, les cendres qui les constituent, sont identiques aux déjections laviques, et, d'après la conservation parfaite de ces cratères, il semble qu'on ne serait pas étonné de voir les feux souterrains s'y frayer de nouveau un passage.

Toute la partie occidentale de la vallée de la Haute-Loire présente des phénomènes analogues. Une centaine de cônes à cratères, ou de soufflures volcaniques, sont alignés dans le sens de cette vallée et ont déversé, dans toute la longueur de la chaîne, des laves très-péridotiques, qui se superposent et alternent avec des bancs de déjections libres ou légèrement agglutinées. On remarque dans ce district que les coulées ne se présentent plus sous forme de bandes longues et étroites partant des cratères, mais couvrent tout le sol, sans qu'on puisse souvent constater aucune relation avec les cratères et sans qu'on puisse même reconnaître si ce manteau basaltique est composé de plusieurs laves ou d'une seule éruption. Les laves et surtout les déjections de ce district ont souvent éprouvé une décomposition qui indique qu'elles sont plus anciennes que celles du bas Vivarais : la même conclusion résulte des érosions profondes qu'ont subies les masses les plus puissantes partout où elles ont été sur le passage des eaux.

Dans la partie orientale du Velay, les caractères extérieurs sont encore différents : ce sont des masses basaltiques isolées que leur structure et leur position indiquent, non pas comme des restes de coulées morcelées, mais comme amoncelées au-dessus de fissures d'éruption, telles que la roche rouge près du Puy (fig. 27) ;

Digitized by Google

d'autres fois, ce sont de vastes plateaux plus ou moins découpés par les eaux, et recouverts de basaltes qui ne se rattachent à aucun cratère.

On remarque dans cette contrée une quantité considérable de dykes ou filons qui ont pénétré le sol et subi des dégradations plus ou moins prononcées. Souvent les dykes ne sont plus représentés que par des masses alignées sur une même fissure, dispositions fréquentes, dont les trois dykes de Rochemaure, sur les bords du Rhône, sont un exemple (fig. 28).

Quelques dépressions cratériformes (lac de Saint-Front, de Freycinet, etc.), creusées dans les plateaux et environnées de

Fig. 27. *Roche rouge près du Puy.*

scories décomposées, peuvent être regardées comme des centres d'émissions ; mais ces cratères n'ont évidemment pas été formés comme ceux qui se trouvent au sommet des cônes de déjections :

Google

ils rappellent par leur disposition les cratères de l'Eiffel, et semblent indiquer qu'une vaste colonne de lave, après avoir percé

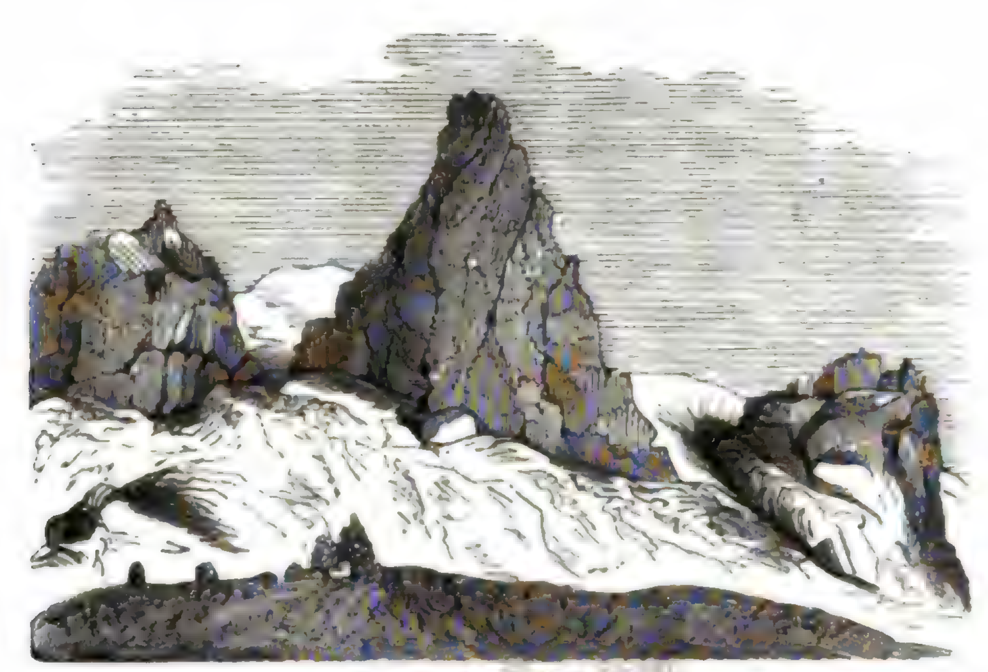


Fig. 28. *Dykes de Rochemaure.*

le sol et s'être déversée sur les plateaux circonvoisins, se retira en laissant une dépression que les dernières explosions configurèrent en forme de cratère.

Formation trachytique. — La nature feldspathique des trachytes, leur variété, leurs formes massives, les tufs et conglomérats dont ils sont accompagnés et avec lesquels ils alternent, donnent à cette formation un tout autre aspect qu'à la précédente. En outre, les roches trachytiques affectent généralement une tendance à s'agglomérer pour constituer des groupes montagneux qui forment les parties les plus élevées des contrées où ils se trouvent ; disposition qui contraste avec celle des basaltes que nous avons vus tendre au contraire à se disséminer. Il en résulte un caractère de puissance et de continuité très-distinctif pour la formation trachytique.

L'antériorité des trachytes aux basaltes est démontrée par un

Digitized by Google

grand nombre de superpositions dans les contrées qui renferment les deux formations, telles que la France centrale et le Siebengebirge. Les exceptions ne sont que des faits accidentels résultant de la réapparition de roches trachytiques après les premières émissions de basaltes. Quant à leur âge géognostique relativement à la série sédimentaire, on a longtemps regardé les émissions trachytiques comme antérieures au terrain tertiaire, ainsi que cela a lieu dans la Hongrie ; mais les trachytes de la France centrale, qui recouvrent et qui ont souvent disloqué les calcaires et les marnes d'eau douce de la formation tertiaire moyenne, ceux des monts E ganéens, qui ont traversé un calcaire grossier tertiaire, démontrent que les éruptions de cette formation se sont prolongées pendant toute la période tertiaire.

Les roches d'agrégation prennent une grande importance dans la formation trachytique, en vertu des érosions violentes et prolongées que les roches directement émises du sol ont eu à subir. Les plus anciens turfs et conglomérats alternent avec les trachytes successivement émis, tandis que les plus récents forment, autour des centres d'émission, une ceinture de plateaux et de collines, qui annoncent longtemps d'avance la présence des trachytes en place.

Les divers modes d'éruption des laves trachytiques paraissent avoir été analogues à ceux que nous avons indiqués pour les basaltes anciens. Ces laves ont été injectées dans les fissures du sol, où elles se retrouvent sous forme de filons et de dykes ; arrivées à la surface, elles se sont épanchées sous forme de nappes, et surtout, en vertu de la fluidité pâteuse assez ordinaire aux roches très-feldspathiques, elles se sont accumulées au-dessus des orifices d'éruption en donnant naissance à des masses plus ou moins saillantes et surtout à des dômes, dont les dykes semblent en quelque sorte les racines.

Il n'est aucune formation ignée qui renferme autant de variétés de roches que la formation trachytique ; car, abstraction faite de tout ce qui est roche d'agrégation, les trachytes se pré-

Digitized by Google

sentent sous les aspects les plus divers. Aux variations illimitées de texture et de couleur que peut offrir la pâte compacte, bulleuse, scorifiée, noire, rouge, blanche, etc., il faut ajouter celles qui peuvent résulter de la grandeur et du nombre des cristaux de feldspath, de leur état vitreux, fritté, lithoïde, de leur association avec d'autres substances disséminées et surtout avec l'amphibole. Les obsidiennes et les phonolites viennent encore augmenter la série des roches que l'on peut appeler les laves de la formation, bien que leurs formes massives aient souvent peu de rapport avec les formes de nappes et de coulées des laves modernes et basaltiques. Les roches vitreuses n'occupent en France que des gisements très-circonscrits ; mais les phonolites acquièrent un développement considérable et semblent, par leur âge postérieur aux trachytes et leur concentration dans des gisements particuliers, tendre à s'isoler en une sous-formation distincte.

Dans le centre de la France, le terrain trachytique forme les trois centres montagneux les plus élevés : le groupe du Cantal, celui des monts Dores et la chaîne du Velay qui se termine, vers le sud, par le Mézenc. Ces trois centres montagneux résument tous les caractères de composition, de forme et de gisement que présente le terrain trachytique dans les autres contrées du globe.

Le groupe du Cantal est un cône irrégulier, surbaissé, évidé à son centre, dont la base, à peu près circulaire, occupe une surface qui a plus de 75 kilomètres de diamètre. Le groupe trachytique proprement dit occupe la partie centrale et se compose de montagnes élevées, d'où partent des contre-forts qui s'abaissent graduellement et se terminent par des plateaux plus ou moins inclinés. La hauteur absolue des montagnes centrales varie entre 1400 et 1800 mètres. Les trachytes, dont la puissance est de beaucoup inférieure à celle des roches d'agrégation avec lesquelles ils alternent, se présentent sous forme de couches dont quelques-unes sont assez continues pour qu'on puisse les suivre pendant 600 mètres et plus, en masses isolées et en filons. A mesure que l'on s'éloigne du centre, ils deviennent moins

Digitized by Google

puissants et les roches d'agrégation prennent un développement plus exclusif ; mais leur nature se modifie, et l'on voit succéder aux tufs d'apparence homogène, aux conglomérats fortement agglutinés dans lesquels l'influence de l'action volcanique est souvent évidente, les roches tout à fait hétérogènes, les conglomérats de blocs trachytiques et basaltiques englobés dans un gravier ponceux.

Les phonolites constituent plusieurs pics qui surgissent au-dessus des conglomérats trachytiques dans la dépression centrale du groupe, et dont le principal est le Puy-Griou. Ces pics phonolitiques, figure 29, placés au centre des escarpements trachytiques qui encaissent les vallées principales, se présentent sous forme de pics élancés et sont considérés comme les roches dont l'éruption a déterminé la formation du cratère de soulèvement.

Le groupe des monts Dores est un cône moins vaste et moins

Fig. 29. *Pics phonolitiques.*

régulier que celui du Cantal : il occupe un espace à peu près circulaire d'environ 20 kilomètres de diamètre. La masse trachy-

Digitized

tique qui constitue cette gibbosité montagneuse est d'une épaisseur moyenne de 4 à 800 mètres : elle est superposée à un plateau primitif, dont la hauteur moyenne est d'environ 1000 mètres ; c'est un ensemble de plateaux sur lesquels s'élèvent des aspérités ordinairement formées par des trachytes massifs, tandis que les vallées et les déchirures qui les sillonnent et les séparent présentent des alternances de trachytes et de roches d'agrégation. Les masses les plus élevées sont disposées de même que dans le Cantal, suivant une crête demi-circulaire qui encaisse une vaste dépression qui forme la vallée des Bains. Le pic Sancy, point culminant de la crête de ce cratère de soulèvement, atteint une élévation de 1887 mètres : il paraît lui-même le centre d'un système de dykes trachytiques dont quelques-uns sont d'une puissance remarquable. Les plateaux sont recouverts par des couches très-continues de trachytes, qui s'étendent au loin en nappes ou coulées.

Dans le Cantal, les assises alternantes de trachytes et de roches conglomérées, qui constituent la masse principale du groupe, sont sensiblement inclinées du centre à la circonférence, c'est-à-dire suivant les pentes du cône. Dans les monts Dores, MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont ont constaté trois centres de relèvement des couches : le premier est la crête qui domine la vallée des Bains ; le deuxième, vers les grandes masses trachytiques du Puy de la Tache ; le second est la dépression semi-circulaire au centre de laquelle se trouvent les pics phonolitiques de la Sanadoire, de la Tuilière et de la Malviale, dont les formes sont analogues à celles du Puy-Griou dans le Cantal.

Sur le même plateau que les monts Dores, à une distance d'environ 12 kilomètres au nord de ses dernières pentes, la formation trachytique s'est prolongée suivant la direction déjà indiquée par la succession des deux groupes précédents, par des émissions de trachytes-domites. Cette espèce de roche constitue quatre dômes arrondis; le Puy-de-Dôme, élevé de 1468 mètres, et les dômes beaucoup moins élevés du Sarcouy, du Cliersou et du petit Suchet.

Ce nouveau centre trachytique est remarquable non-seulement par l'émission exclusive des domites, mais surtout par la forme régulière et arrondie de leurs masses. Ces formes existent bien dans les monts Dores, mais point avec cette netteté de contours et cet isolement qui démontre que chacune de ces masses représente un point d'émission distinct, et indique le mode de formation par accumulation de roches très-pâteuses au-dessus des orifices d'éruption. Ces montagnes domitiques reproduisent, sous une petite échelle, les formes des grands cônes trachytiques des Andes Cordillères.

La chaîne phonolitique du Velay forme la limite orientale de la vallée de la haute Loire : c'est une zone formée de pics et de plateaux indépendants, tantôt interrompue, tantôt présentant des renflements qui, dans les groupes du Mégal et du Mézenc, atteignent jusqu'à 12 et 15 kilomètres de largeur; de telle sorte qu'on pourrait la considérer comme une série de centres d'actions éruptives, placés sur une même ligne, et rattachés les uns aux autres par des masses isolées. C'est ainsi que les groupes du Cantal, des monts Dores et les monts domitiques se sont succédé sur une même ligne; mais ce rapprochement est le seul à faire entre ces deux lignes trachytiques, dont la forme et la composition diffèrent complétement. Vue de la vallée, la chaîne du Velay termine l'horizon par un long rideau bizarrement découpé : ce sont des pics aigus, de grosses montagnes arrondies ou terminées par des plateaux, escarpés sur toutes leurs faces, accumulées en plusieurs points, clair-semées dans d'autres. Les teintes sombres qui résultent de la nudité de ces montagnes, leurs formes hardies et variées, donnent à cette contrée une physionomie caractéristique. Si l'on pénètre dans l'intérieur, on reconnaît que la chaîne se compose d'une série de masses isolées, tout à fait indépendantes et séparées par des vallées granitiques.

Le groupe principal est celui du Mézenc, qui forme la partie sud de la chaîne : c'est un système de pics et de plateaux qui s'élèvent graduellement jusqu'aux sommités centrales. Le point

Digitized by Google

culminant, qui est en même temps celui de toute la chaîne, est formé par le pic du Mézenc, à 1774 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ce groupe s'étend principalement vers le sud, et se termine par les montagnes du Béage et de la vallée de Sainte-Eulalie, où la Loire prend sa source. Le terrain basaltique y est développé sur une grande échelle. Le groupe du Mégal succède à celui du Mézenc. Le terrain trachytique y est plus continu, plus puissant, et n'est pas associé au terrain basaltique. Le point culminant est Testevoire, à 1447 mètres de hauteur. Ce groupe s'étend dans tous les sens par des pics excentriques très-éloignés. La chaîne se prolonge ensuite au nord par une série de grosses masses phonolitiques, dont les principales sont Eymerau, Gerbison, Miaune et la Magdeleine, jusque par delà le défilé de Chamalières, par lequel la Loire s'échappe de la haute vallée.

Les phonolites constituent la presque totalité de la chaîne, et l'étude des diverses masses qu'ils constituent démontre qu'ils ont dû faire éruption en un grand nombre de points, suivant une longue fissure dirigée du nord-nord-ouest au sud-sud-est, et qu'au-dessus de ces orifices la lave prit des formes très-diverses, suivant sa plus ou moins grande fluidité, le plus souvent s'accumulant en dômes arrondis et en masses coniques, d'autres fois s'affaissant et formant des masses aplaties et très-épaisses; plus rarement, enfin, s'épanchant sous forme de nappe. L'émission de ces phonolites ne fut accompagnée d'aucune déjection, ce qui les distingue des éruptions trachytiques des groupes précédents et justifie l'absence totale des conglomérats. Postérieurement à ces éruptions feldspathiques, les basaltes se firent jour en deux points de la chaîne (le Mézenc et la partie nord du Mégal); ils soulevèrent les phonolites, s'intercalèrent quelquefois entre eux, et s'épanchèrent à leur pied, en couvrant de leurs vastes nappes les intervalles qui séparaient les masses phonolitiques.

Dans un grand nombre de contrées, notamment sur les bords du Rhin, où elle forme le Siebengebirge, et dans la Hongrie, la formation trachytique présente des caractères identiques à ceux

Digitized by Google

que nous venons d'indiquer. En Amérique elle semble présenter un aspect particulier, en ce qu'elle est principalement représentée par d'immenses cônes superposés à la chaînes des Andes Cordillères.

Le Chimborazo, représenté planche II, est un de ces grands cônes trachytiques, dont le Puy-de-Dôme est en quelque sorte une réduction.

TERRAIN PORPHYRIQUE.

La période des éruptions porphyriques qui correspond à peu près à la période secondaire est celle qui comprend les roches les plus variées.

Ces roches nombreuses se montrent en dykes ou masses comprises sous deux plans à peu près parallèles, qui coupent les roches stratifiées et paraissent des cassures remplies par des roches pus ou moins fluides; elles se montrent en masses éruptives, sorties par des centres d'émission en soulevant autour d'elles les roches préexistantes; quelquefois, mais beaucoup plus rarement, elles ont coulé sur la surface du sol à la manière des laves, ou elles ont été injectées latéralement dans les plans de superposition des terrains sédimentaires, de manière à présenter elles-mêmes des apparences d'alternances stratifiées.

Chacune des contrées qui doivent les principaux traits de leurs formes et de leur composition aux éruptions porphyriques est caractérisée par des roches spéciales et des phénomènes de gisement particuliers, de telle sorte, qu'en étudiant quelques-unes de ces contrées nous pouvons résumer les faits généraux que présente le terrain. Ces faits se rattachent toujours à trois ordres d'observations : la composition minéralogique des roches; le gisement, c'est-à-dire les formes sous lesquelles se présentent les masses; enfin les relations qu'elles ont avec les roches sédimentaires auxquelles elles sont postérieures ou antérieures, les bouleversements et les altérations métamorphiques qu'elles y ont déterminés.

Digitized by Google

Composition du terrain porphyrique. — Les roches nombreuses qui se rapportent à ce terrain peuvent être considérées comme appartenant à deux catégories distinctes, les roches *trappéennes* et *porphyriques*.

Les roches trappéennes sont généralement de couleurs foncées, vertes ou noires et peu cristallines; ce n'est que par exception que les minéraux constituants s'isolent en cristaux et déterminent une structure nettement porphyroïde. Elles ne contiennent pas de quartz libre, et, comparées dans leur ensemble aux roches porphyriques, elles sont plus chargées de bases terreuses et par conséquent moins riches en silice. Les silicates de magnésie, de chaux et de protoxyde de fer, les caractérisent plutôt que les silicates alumineux qui leur sont seulement associés et subordonnés. Ces roches, suivant leurs caractères minéralogiques, ont reçu la dénomination de *trapps*, *grunsteins*, *mélaphyres amphibolites*, *spillites*, *amygdaloïdes*, *variolites*, *ophites*, *serpentines*.

Les roches trappéennes se distinguent par leurs caractères d'homogénéité; on peut parcourir pendant des heures entières la surface des serpentines de l'Italie, des grunsteins de l'Allemagne, sans trouver aucune substance cristallisée et de composition bien définie. Le diallage, la stéatite, l'amphibole et le pyroxène sont les seuls minéraux cristallins dont la présence y soit normale; tous les autres sont rejetés vers les contacts. Ainsi les spillites et amygdaloïdes à noyaux de zéolites ou de spath calcaire ne se trouvent que sur les bords des accumulations trappéennes, où ils constituent souvent des collines et des pitons particuliers, de même que les euphotides et certains mélaphyres cristallins.

Comparativement aux roches porphyriques, on ne peut manquer d'être frappé de l'absence du quartz dans les formations trappéennes; les quartz fibreux de l'Italie y sont des raretés; les agates et les quartz résinites d'Oberstein, etc., ne se présentent que dans les roches de contact. Le feldspath et le quartz, qui, jusque-là, avaient été les principes dominants des roches

éruptives, ne sont plus que des substances subordonnées aux silicates de magnésie, de chaux, de fer; les seuls feldspaths accidentels sont les jades et les labradors, c'est-à-dire les moins silicatés de tous.

Quelques substances rares, telles que l'apophyllite, la datholite, la préhnite, etc., se retrouvent dans certains groupes trappéens, très-distants les uns des autres, avec une parité remarquable dans leurs caractères minéralogiques et dans les circonstances de leur gisement. Ces minéraux se présentent, par exemple, en petits filons contemporains et en géodes cristallines, dans les trapps de Kewena-Point et des bords méridionaux du lac Supérieur (Amérique du Nord); dans les trapps de l'Indostan, à Pounah (Asie); dans les grunsteins de Harz, à Andreasberg (Europe). En étudiant les collections de minéraux recueillis dans ces contrées trappéennes, on ne peut manquer d'être frappé des identités que présentent les échantillons de provenances si éloignées.

Les roches trappéennes ont une affinité directe pour les minerais, affinité plus directe que celle des porphyres quartzifères ou feldspathiques; elles en contiennent très-souvent qui sont disséminés dans leur propre pâte ou englobés sous forme d'amas éruptifs. C'est ainsi que les amphibolites de la Toscane présentent le cuivre pyriteux, la galène et la blende en gîtes exploitables; que les amphibolites de Suède, et notamment celles du mont Taberg, renferment le fer oxydulé, qui se retrouve dans les serpentines des Alpes, notamment celles de la vallée d'Aoste; c'est ainsi que le nickel sulfuré est exploité dans la pâte même d'un grunstein du Dillenburg, le mispickel dans les serpentines de Reichenstein en Silésie, le fer chromé dans celle de plusieurs contrées, et que le platine natif a été trouvé dans le grunstein de Choco et dans les serpentines de l'Oural.

Les *porphyres feldspathiques*, accidentellement *amphiboliques*, les *eurites* et les *pétrosilex* forment un groupe minéralogique qui a généralement précédé celui des roches trappéennes.

Ce groupe de roches presque exclusivement feldspathiques,

Digitized by Google

et dans lesquelles les autres éléments ne sont qu'accidentels, est celui qui fournit les plus belles variétés à l'ornementation. Il est souvent remarquable par la proportion de fer oxydé rouge qui se mélange à la composition normale de ces roches et qui donne à l'ensemble de ses masses minérales une coloration caractéristique.

Les porphyres feldspathiques ont généralement succédé aux *porphyres quartzifères*, qui présentent les mêmes caractères de composition, mais avec un excès de quartz qui s'isole en grains cristallins disséminés dans les pâtes porphyriques.

Il devient ainsi évident, en remontant la série des roches éruptives, depuis les roches volcaniques actuelles jusqu'aux porphyres quartzifères, que ces roches sont d'autant plus riches en silice que leur époque d'émission est plus ancienne. De là, les variations que présentent aussi les feldspaths. Les variétés les moins silicatées, telles que le labrador et l'oligoclase, s'associent au pyroxène et à la serpentine; tandis que les variétés les plus silicatées, l'orthose et l'albite, se trouvent associées à l'amphibole et au quartz.

La structure générale des roches du terrain porphyrique est massive; les blocs en sont irréguliers comme les masses elles-mêmes, et ce n'est qu'accidentellement qu'on trouve des exemples de structure prismatique, de structure globulaire à couches concentriques, et, en général, de toutes les structures pseudo-régulières qui peuvent être déterminées par les fissures de retrait.

Formes et gisement des masses porphyriques. — Ainsi que nous l'avons dit précédemment, les masses porphyriques présentent rarement des formes facilement définissables; ce sont en général des dykes puissants et ramifiés qui traversent les terrains préexistants, ou des masses arrondies qui constituent des pitons et des montagnes coniques autour desquelles le terrain est soulevé.

Lorsqu'on étudie les formes des masses porphyriques, on est en même temps conduit à examiner les conditions de leur

Digitized by Google

gisement, c'est-à-dire de leurs relations avec les masses minérales voisines. On reconnaît que telle roche qui a soulevé et traversé un dépôt sédimentaire lui est nécessairement postérieure, tandis qu'elle est antérieure aux dépôts qui l'ont régulièrement recouverte ou qui contiennent souvent des débris qui leur sont empruntés.

C'est ainsi qu'on a pu constater que les ophites des Pyrénées, en dykes et pitons, qui ont soulevé les terrains crétacés et nummulitiques, ont cependant fait éruption avant les terrains tertiaires proprement dits dont les couches horizontales enveloppent leur base. C'est ainsi qu'on a établi l'âge des serpentines du Piémont et de la Toscane, qui ont soulevé les macignos de la craie supérieure; celui des trapps des îles Britanniques dont les dykes traversent les calcaires carbonifères, les grès houillers, les grès rouges et même le lias; celui des masses porphyriques des Vosges antérieures aux dépôts du trias; celui des porphyres de la Saxe, qui ont précédé les dépôts pénéens; enfin celui de toutes les grandes formations éruptives au contact desquelles on peut observer la série des terrains stratifiés.

Les roches porphyriques se trouvent surtout dans les régions montagneuses; elles contribuent au relief du sol par leurs masses et par les bouleversements que l'éruption de ces masses a déterminés dans les terrains stratifiés. En France et dans les contrées avoisinantes, on peut étudier ces roches sur un grand nombre de points. Ainsi le plateau central, notamment aux environs de Roanne, présente des porphyres quartzifères, feldspathiques et amphiboliques très-remarquables. La région la plus montagneuse des Vosges abonde en porphyres les plus variés qui se lient à des mélaphyres, des trapps, des spillites et des serpentines. Les ophites des Pyrénées, les serpentines et les variolites des Alpes, complètent la série des roches que ce terrain présente.

Les trapps du Derbyshire, du Yorkshire, etc..., ceux du Palatinat, qui s'étendent au sud de la Nahe, entre le Rhin et la

Sarre ; les grunsteins du Nassau, aux environs de Dillenburg et de Veilburg ; les grunsteins diorites et amphibolites du Hartz, les porphyres de l'Erzgebirge, les porphyres et les mélaphyres du Tyrol; etc..., sont les exemples les plus étudiés du développement des roches porphyriques ; mais il en existe de plus importants en puissance et en étendue dans diverses contrées de l'Amérique et de l'Asie.

En Amérique, la côte orientale de Fundy-Bay, dans la Nouvelle-Écosse, est bordée, sur une longueur de 300 kilomètres, par des escarpements de trapps qui sont sortis au jour en soulevant les schistes de transition. En Asie, la pointe occidentale de l'Inde renferme un groupe de roches trappéennes qui paraissent occuper une surface encore plus considérable. Dans tous les gisements des diverses parties du monde, ces roches conservent non-seulement leurs caractères principaux, mais les caractères accessoires qui résultent du développement sur le périmètre des masses éruptives de roches spéciales et subordonnées, telles que les amygdaloïdes, les spillites, les variolites, etc.

Les formes qu'affectent les masses porphyriques ou trappéennes présentent surtout de l'intérêt au point de vue de leurs contacts et de leur enchevêtrement fréquent avec les roches stratifiées à travers lesquelles elles sont sorties. Ainsi, lorsqu'une roche se présente en filons ou dykes peu puissants, qui ont traversé les roches stratifiées (fig. 30), il est évident que l'état de fluidité ignée dans laquelle se trouvait cette roche pour être ainsi injectée dans les fissures du terrain a dû altérer les caractères minéralogiques de ce terrain. Tel est en effet le cas le plus ordinaire, et les altérations produites sont celles que nous avons indiquées plusieurs fois sous la dénomination de métamorphiques.

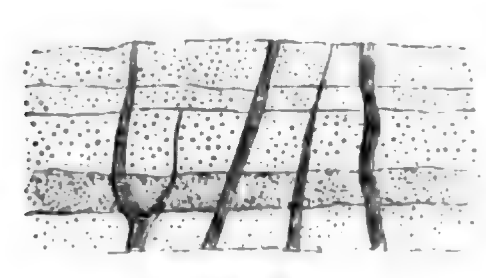


Fig. 30.

Ces altérations sont encore plus énergiques lorsque les masses éruptives sont très-puissantes et qu'elles ont accidenté et péné-

tré le terrain sur une vaste échelle. Sous ce rapport, les couches trappéennes intercalées dans divers terrains ont, de tout temps, excité la curiosité des géologues, car elles ont quelquefois suivi les lignes de stratification si régulièrement et sur de telles longueurs, qu'elles semblent tout à fait contemporaines des couches sédimentaires avec lesquelles elles alternent. C'est surtout en Angleterre que ces phénomènes d'alternances trappéennes avec les roches stratifiées se présentent sur une vaste échelle. Ainsi l'on voit souvent une couche de trapp qui s'était régulièrement maintenue entre deux couches sédimentaires s'infléchir tout à coup, couper les lignes de stratification et aller s'intercaler plus haut entre deux autres couches. D'autres fois ces trapps aboutissent à de véritables filons qui jettent à droite et à gauche des ramifications dans les couches sédimentaires qu'ils traversent. Ces alternances hétérogènes sont assez communes dans le Derbyshire, où le trapp-toadstone s'est inséré entre les calcaires, les argiles schisteuses et les grès du calcaire carbonifère ; elles se retrouvent dans le comté de Durham, vers la partie haute de la vallée de la Teess, dans les grès rouges de l'Écosse, etc...

Les roches trappéennes, quoique paraissant avoir été émises,

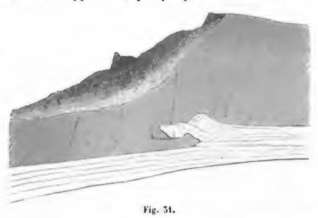


Fig. 31.

ainsi que la plupart des roches porphyriques, à l'état de fluidité

pâteuse, ont quelquefois coulé de manière à recouvrir les formations sédimentaires sur des espaces considérables. Mais, lors même que ces roches forment ainsi la surface du sol, elles présentent des phénomènes d'enchevêtrements et d'altérations. Un exemple assez célèbre, parce qu'il a été un des premiers cités à l'appui de l'origine éruptive des trapps, est celui du rocher de Stirling. Ce rocher, sur lequel est bâti le château de ce nom, est formé de trapp qui recouvre le terrain houiller et qui, vers sa base, pénètre dans les strates, ainsi que l'indique la figure 31.

Dans ces contacts enchevêtrés les roches ont éprouvé les altérations déjà définies. Les calcaires sont devenus cristallins et passent au marbre saccharoïde, de même que lorsqu'on fait fondre de la craie dans un canon de fusil. Les grès ont été changés en quartz compacte, à cassure luisante, absolument tels qu'ils sont lorsque après un long usage on les retire des fourneaux dont ils constituaient les parois. La houille est souvent à l'état de coke, et les schistes qui l'accompagnent sont calcinés comme dans les houillères embrasées. Toutes ces roches reprennent peu à peu leur état naturel à mesure que l'on s'éloigne des contacts.

Les roches du terrain porphyrique sont presque toujours accompagnées, vers le périmètre des masses émises, de roches subordonnées, qui forment le passage de la roche éruptive proprement dite aux véritables roches sédimentaires. Ces roches mixtes sont considérées comme des sortes de conglomérats de frottement, formés à la fois aux dépens des masses éruptives et des masses sédimentaires traversées, parce qu'en effet elles présentent presque toujours un aspect congloméré, bréchiforme. Les *brèches feldspathique*, à retraits souvent prismatiques, accompagnent ainsi les porphyres; les trapps sont accompagnés d'amygdaloïdes, de spillites et des roches problématiques très-ferrugineuses que l'on appelle *schalsteins* ou *mandelsteins*; enfin, les serpentines sont enveloppées le plus souvent par des *gabbros* bréchiformes qui ont la même origine.

Digitized by Google

TERRAIN GRANITIQUE.

Ce dernier terrain ne se compose que des roches granitoïdes, les *granites*, les *protogines* et les *syénites*, qui ont pour caractère commun l'état isolé et cristallin de tous les minéraux constituants. Les feldspaths, qui sont généralement les principes dominants, sont lamelleux et souvent en cristaux définis ; le quartz est en grains hyalins, translucides ; le mica, le talc ou l'amphibole sont également isolés, et avec tous les caractères propres à leur état cristallin.

Les roches granitiques diffèrent entre elles, d'abord par les trois éléments variables : les micas qui caractérisent les granites proprement dits, les talcs qui appartiennent aux protogines, et les amphiboles aux syénites. Mais, dans ces catégories de granites, protogines et syénites, de nombreuses variétés sont encore déterminées par la proportion des éléments constituants, la composition variable des feldspaths et les dimensions relatives des éléments cristallins.

Le feldspath orthose est, en quelque sorte, le feldspath normal des roches granitiques. L'albite, l'oligoclase et l'andesite peuvent également y exister, mais en quantité moindre et subordonnée. C'est principalement lorsque plusieurs espèces feldspathiques se présentent dans les granites que ceux-ci prennent l'aspect porphyroïde par le développement de grands cristaux isolés, ou de petits fragments cristallins dont la couleur diffère du feldspath principal. Quelquefois même, deux espèces feldspathiques se trouvent réunies dans les mêmes cristaux, l'une formant le noyau intérieur et l'autre l'enveloppe.

Généralement, les granites à base d'orthose et à grains fins paraissent plus anciens que les granites à feldspaths multiples et à structure porphyroïde.

Les types des roches granitiques peuvent être pris dans presque toutes les contrées montagneuses formées par les terrains

Digitized by Google

primitifs et de transition. Le plateau granitique de la France centrale en présente un grand nombre de variétés. Les environs de Limoges sont formés des granites les plus quartzeux, qui, dans beaucoup de gisements, perdent leurs micas et passent à la *pegmatite* et aux roches *kaolineuses ;* le Forez présente plus particulièrement les variétés de granites quartzeux à petits grains et très-micacés, passant quelquefois aux protogines qui abondent dans les montagnes d'Ambert et de Tarare ; le Morvan est spécialement caractérisé par les variétés porphyroïdes à grands cristaux, considérées comme les plus modernes de la série.

Les Vosges contiennent en abondance toutes les variétés de granites pauvres en quartz, à feldspaths multiples, ainsi que les syénites et les *diorites*, qui établissent le passage du groupe des roches granitiques à celui des roches porphyriques.

Les formes des masses granitiques sont souvent en rapport avec leur nature minéralogique. Les masses centrales et culminantes qui servent de support aux gneiss et aux couches métamorphiques, et semblent être la base de toute la série sédimentaire, sont formées de granites quartzeux à grandes parties, ou de granites quartzeux micacés à petits grains ; ces granites couvrent de grandes surfaces et présentent peu de variétés dans leurs caractères. Les granites très-feldspathiques et à grands cristaux, ainsi que les syénites, forment souvent des pitons détachés et des dykes de toutes dimensions, qui semblent appartenir à des phénomènes éruptifs postérieurs à ces granites quartzeux ; ces variétés traversent non-seulement les terrains de sédiment de transition, mais souvent ceux de la période secondaire.

Cette mobilité des caractères minéralogiques des granites modernes est très-remarquable dans les Alpes et les Pyrénées, où chaque pic granitique présente une variété différente.

Dans le massif de Campana de l'île d'Elbe, les caractères des granites sont tellement mobiles, que l'on peut y rassembler une collection de toutes les variétés. Ces granites, qui ont traversé les terrains crétacés supérieurs et sont par conséquent contem-

Digitized by Google

porains des premiers dépôts tertiaires, présentent des géodes cristallines et des parties complétement porphyriques; d'autres sont tellement compactes, qu'on peut leur donner le nom d'eurites. La partie centrale de la masse éruptive est composée de véritables granites, tandis que celle de tout le périmètre semble plutôt appartenir à un terrain porphyrique.

L'origine des granites est évidemment éruptive; tout le prouve, leur composition, leur structure cristalline, la forme de leurs masses et les relations de ces masses avec les roches sédimentaires, soulevées et traversées par les granites porphyroïdes les plus modernes, absolument de la même manière que par les porphyres. Ainsi les masses granitiques qui forment les sommités d'un grand nombre de contrées de transition, ont soulevé autour d'elles les terrains stratifiés (fig. 32); et sou-

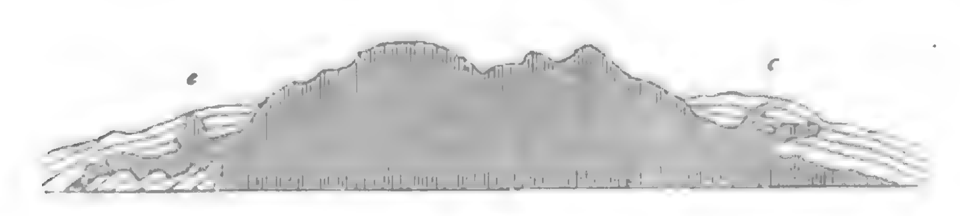


Fig. 32.

vent les contacts du granite et des roches soulevées présentent les phénomènes de pénétrations et d'altérations ordinaires à toutes les roches éruptives.

On a souvent cherché à établir des distinctions d'origine entre les granites et les roches éruptives postérieures, surtout à l'égard des grandes masses granitiques qui semblent supporter l'édifice superstratifié de toutes les roches de sédiment et nous représenter les roches les plus anciennes de la série géognostique. Mais, comme ces granites anciens se lient par des passages insensibles aux granites modernes qui forment des dykes et des pitons, et qui, dans l'île d'Elbe par exemple, ont traversé les terrains crétacés en filons déliés et nets comme l'auraient fait des roches trappéennes, on doit renoncer à établir aucune diffé-

rence notable entre l'origine des granites et celle des autres roches éruptives.

Sans doute, les granites à grandes parties, comme ceux des environs de Limoges, ceux de Zinnwald en Bohême, ou d'Arendal en Norvége, doivent à quelques phénomènes spéciaux leur abondance en quartz et la séparation de leurs éléments en gros fragments cristallins; mais ces variétés ne constituent que des gîtes locaux et circonscrits. Les phénomènes qui leur ont donné ces caractères particuliers sont donc exceptionnels et ne peuvent modifier l'assimilation de l'origine des granites à celle des roches éruptives qui les ont suivis.

En résumé, on peut considérer les granites quartzeux comme les plus anciens de la série; les protogines quartzeuzes et les pegmatites forment les variétés principales de ce premier groupe; viennent ensuite les granites moins riches en quartz, mêlés de feldspaths multiples, et que l'on peut comprendre sous la dénomination de granites porphyroïdes quartzifères. Les granites porphyroïdes exclusivement feldspathiques, les syénites et les diorites composent un troisième groupe qui lie les roches de cette première période éruptive aux porphyres quartzifères de la période suivante.

Les détails que nous avons donnés précédemment sur les formes des masses porphyriques et sur les phénomènes d'altération et de bouleversement que leur émission paraît avoir produits peuvent en grande partie s'appliquer aux masses granitiques. Les granites les plus anciens ne se présentent guère que sous forme de massifs arrondis, centres de soulèvement autour desquels les terrains stratifiés sont relevés et altérés. Ce sont surtout les granites récents et les syénites qui affectent les formes les plus déliées. C'est ainsi que les syénites zirconiennes de la Norvége alternent avec des grauwackes, des lydiennes et des calcaires à trilobites, par des enchevêtrements comparables à ceux des trapps de l'Angleterre; que les granites de l'Oisans ont pénétré et altéré les couches du terrain jurassique, enfin que les granites porphyroïdes de l'île d'Elbe, injectés dans les terrains

crétacés supérieurs, les pénètrent dans tous les sens sous forme de filons déliés, en y déterminant les modifications métamorphiques les plus énergiques.

Les syénites de la Norvége, qui passent aux roches noires du groupe trappéen et se scorifient comme elles, les granites de l'Oisans, des Pyrénées et de l'île d'Elbe, qui se lient par des variétés porphyroïdes aux porphyres quartzifères, forment donc la partie supérieure du terrain granitique, de telle sorte que ce terrain nous montre les émissions de roches ignées se continuant de la période secondaire jusqu'à la base de la période de transition, et allant se fondre dans cette époque incertaine, où les granites semblent s'isoler de plus en plus, de manière à conduire à un noyau igné, qui formerait une enveloppe générale au-dessous des premiers dépôts sédimentaires.

SYSTÈMES DE SOULÈVEMENT. ALPES.

Les pays de montagnes présentent un attrait tout particulier pour le géologue qui y trouve rassemblées une grande variété de roches sédimentaires et de roches ignées. Ces contrées sont d'ailleurs les seules dans lesquelles on puisse étudier les relations des deux séries de terrains.

Qui dit montagnes dit en effet soulèvement d'une certaine série de dépôts sédimentaires et sortie à la surface des roches ignées dont les éruptions ont presque toujours accompagné ou suivi les soulèvements; constater l'âge des dépôts soulevés, celui des dépôts en couches horizontales qui n'ont pas été affectés par ces révolutions; constater les caractères de composition, de structure et de forme des roches éruptives qui ont soulevé et métamorphisé les premiers et qui n'ont eu aucune action sur les secondes, c'est faire la géologie de ces chaînes ou groupes de montagnes; c'est en effet définir à la fois leur composition, l'âge de leur soulèvement et les phénomènes géologiques qui ont caractérisé cette perturbation.

M. Élie de Beaumont a donné un nouvel intérêt à ces études en démontrant que chaque époque de soulèvement était caractérisée par les directions spéciales des chaînes de montagnes et des dépôts soulevés sur leurs versants. Chacune des époques de soulèvement représente ainsi une sorte de révolution de la surface du globe, qui marque la séparation des formations sédimentaires, qui, dans chaque contrée où elle s'est manifestée, est caractérisée par des roches éruptives spéciales.

Ainsi tout se tient en géologie, les dépôts des terrains sédimentaires, les éruptions des roches ignées, les soulèvements de l'écorce terrestre, tous ces phénomènes forment des séries solidaires et ne constituent qu'une seule et même histoire.

Les principaux systèmes de soulèvements, reconnus et classés par M. Élie de Beaumont, sont :

1° Le système du *Hundsrück* advenu entre les dépôts de transition inférieurs et moyens. Sa direction caractéristique est O. 35° S.—E. 35° N., elle est indiquée par la direction fréquente des gneiss micaschistes et schistes micacés ou argileux sans fossiles, dans les provinces rhénanes, les Ardennes, et dans les massifs de transition de la Bretagne, et de la Normandie ;

2° Le système des *ballons des Vosges*, placé entre la période de transition moyenne et les dépôts du calcaire carbonifère et de la formation houillère. Sa direction caractéristique est O. 15° N. — E. 15° S. ; elle est marquée par la direction des quartzites et schistes argileux à fossiles de la Bretagne et de la Normandie, dont les relèvements déterminent les formes dominantes. Les dépôts de transition qui se trouvent au sud des Vosges, au pied des ballons granitiques et syénitiques, ont servi à établir le type de ce système de soulèvement dont on retrouve la direction dans la Lozère, la Corrèze, et les monts Margeride ;

3° Le système du *nord de l'Angleterre*, placé entre les dépôts houillers et les dépôts pénéens. Sa direction est N. 5° O. — S. 5° E. Ce système est très-nettement accusé par la direction des calcaires carbonifères et des dépôts houillers du nord de l'Angleterre; M. Élie de Beaumont la signale en outre dans les

Digitized by Google

crêtes de la Scandinavie, dans les montagnes de Tarare et dans les relèvements houillers du Forez, du Var, etc.; il y rattache les roches amphiboliques du nord de la Bretagne, la sortie des roches trappéénnes du Cumberland et du Derbyshire;

4° Le système du *Hainaut* marque la séparation entre les grès rouges pénéens et les grès des Vosges. Il est dirigé O. 5° S. — E. 5° N. Cette direction et cet âge sont marqués par les accidents principaux des terrains houillers de la Belgique et du nord de la France, accidents qui ont également affecté les dépôts pénéens moins le grès des Vosges;

5° Le système du *Rhin*, dirigé S. 21° O. — N. 21° E., paraît s'être produit entre le grès des Vosges et le trias. Il est indiqué par la direction des relèvements qui encaissent le Rhin, de Bâle à Mayence. Cette direction est accusée sur le plateau central de la France par les relèvements sur lesquels se suivent les petits dépôts houillers de Decize, Mauriac et Bort;

6° Le système du *thurnigerwald du Bœhmerwald*, dirigé O. 40° N. — E. 40° S., a soulevé le trias, sans soulever les terrains jurassiques, et marque ainsi la séparation des deux périodes. Ces soulèvements sont indiqués par les relèvements du grès bigarré au sud-ouest des Vosges et les serpentines qui les ont accompagnés. Les trias disloqués des environs d'Avallon, de l'Aveyron et de Brives se rapportent également à ce système;

7° Le système de la *Côte-d'Or*, dirigé O. 40° S. — E. 40° N., a marqué vigoureusement la séparation de la période jurassique des premiers dépôts de la période crétacée. Ce système est marqué par la direction de la Côte-d'Or, par celle des chaînes du Pilas, du Morvan, des Cévennes, etc.;

8° Le système du mont *Viso*, dirigé du N. O. au S. E., a relevé les couches du grès vert, sans accidenter la craie proprement dite où les calcaires à nummulites. Il est représenté par un grand nombre de crêtes saillantes des Alpes du Dauphiné. On le reconnait encore, dit M. Elie de Beaumont, dans les montagnes qui lient les Alpes au Jura;

9° Le système des *Pyrénées*, dirigé O. 18° N. — E. 18° S.,

Digitized by Google

a soulevé la craie sans affecter les terrains tertiaires. Les Pyrénées, les chaînes des Asturies, des Apennins, des Carpathes, des Balkans, etc., donnent une grande importance à ce système qui est un des plus marqués à la surface de l'Europe ;

10° Le système de la *Corse*, exactement dirigé du N. au S., se place entre les formations tertiaires inférieures et moyennes. Il est indiqué par des soulèvements qui ont donné leurs dernières formes aux crêtes qui séparent les vallées de la Loire, de la Saône et de l'Allier. Les îles de Corse et de Sardaigne, et les côtes d'Italie, présentent beaucoup de soulèvements qui se rapportent à cette direction et à cet âge géologique ;

11° Le système des *Alpes occidentales*, dirigé S. 26° O. — N. 26° E., a soulevé les molasses suisses qui appartiennent au terrain tertiaire moyen et n'a pas accidenté les dépôts tertiaires supérieurs de la Bresse, du bas Dauphiné, de la Provence. C'est le système des Alpes de la Savoie et du Dauphiné ;

12° Le système des *Alpes orientales*, dirigé O. 16° S. — E. 16° N., a soulevé même les dépôts lacustres qui appartiennent à la formation tertiaire supérieure. Les Alpes principales, qui s'étendent du Valais et du Saint-Gothard jusqu'en Autriche, marquent la direction de ce dernier système.

Le nouveau continent présente comme l'ancien des chaînes diverses dont l'âge et l'orientation se rattachent aux systèmes de soulèvements reconnus sur les autres continents.

Les chaînes les plus anciennes qui sillonnent le territoire du Brésil sont à peine postérieures au terrain de transition et principalement orientées de l'est à l'ouest; tandis que les soulèvements les plus modernes ont suivi le méridien et produit les Cordillères occidentales. Cette dernière fracture est de plus marquée par les nombreux volcans des Andes Cordillères.

Chaque époque de soulèvement se trouve ainsi caractérisée non-seulement par une direction spéciale, mais surtout par le relèvement de toutes les formations antérieures, tandis que les formations supérieures n'en sont pas affectées. Ce double caractère est indispensable pour fixer l'époque d'un soulèvement,

car on ne pourrait obtenir une classification probable, si l'on se bornait à comparer les directions qui souvent se compliquent de manière à présenter des réseaux inextricables.

Ce qui présente un intérêt tout particulier dans les recherches de M. Élie de Beaumont, c'est la démonstration de l'époque géologique, souvent très-moderne, de soulèvements qui paraissent au premier abord devoir remonter aux périodes les plus anciennes. Sous ce rapport, nulle contrée ne présente plus d'intérêt que les Alpes, et nous croyons utile d'entrer dans quelques développements sur les faits qui y ont été successivement observés. Ces détails préciseront les diverses questions posées lorsqu'on parcourt les chaînes de montagnes.

Les Alpes ont été le berceau des études géologiques; c'est en les parcourant, de 1770 à 1786, que M. de Saussure a jeté les bases de la géologie actuelle, science qui, avant lui, se bornait à une lithologie minutieuse, accompagnée de quelques observations générales sur la classification des terrains. Saussure, attiré dans les Alpes par la grandeur des phénomènes et des spectacles de la nature, par le désir d'y faire des expériences de physique et des observations météorologiques, y fut naturellement conduit à des études presque exclusivement géologiques; il y créa, en quelque sorte, l'art d'observer, jusqu'alors inconnu du plus grand nombre

Les profondes vallées qui entourent le massif du mont Blanc étaient particulièrement favorables à l'étude de la composition et de la structure des roches. Les roches y atteignent en effet des altitudes de deux, trois, quatre mille mètres et au delà, tandis que le fond des grandes vallées se maintient à des altitudes de cinq cents à mille mètres. La base de ces grandes masses étant plus étroite que partout ailleurs dans les Alpes, les pentes moyennes y sont aussi plus rapides, et les flancs dénudés et fortement inclinés des versants offrent des déchirures constamment ravivées par les éboulements qui mettent en évidence les coupes les plus expressives de l'écorce terrestre.

Grâce à ces circonstances favorables, et grâce surtout à son

génie d'observation, M. de Saussure put saisir et signaler les faits essentiels de la structure et de la composition des Alpes.

Avant d'arriver au pied des grandes montagnes, M. de Saussure constate d'abord, dans la vallée de Cluses, la composition calcaire et argileuse du terrain, sa nature fossilifère et sa stratification, qui en indiquent l'origine sédimentaire; enfin, les grandes inclinaisons ordinaires aux couches, et les formes qui attestent les perturbations qu'elles ont éprouvées.

« A une petite lieue de Maglan, dit-il, une jolie cascade, « formée par un ruisseau nommé le Nant d'Arpenaz, présente « un spectacle aussi nouveau qu'agréable pour ceux que de « fréquents voyages dans les montagnes n'ont pas accoutumés à « ce genre de plaisir. Mais un homme curieux de la structure « des montagnes doit, en s'approchant de cette cascade, s'occu- « per principalement du rocher du haut duquel elle tombe.

« Les couches de ce rocher forment des arcs concentriques « tournés en sens contraire, en sorte que la totalité des couches « a la forme d'une S dont la partie supérieure se recourbe fort « en arrière. Le rocher est tout calcaire; mais, ce qu'il y a de « plus difficile à expliquer, c'est la forme arquée de ces grandes « couches.

« Le plus grand des arcs extérieurs a pour corde une ligne « d'environ 800 pieds; dans toute cette étendue, les couches « extérieures, de même que les couches intérieures, sont suivies « sans interruption. On peut donc être assuré que ce sont de « vraies couches et non point des fissures, ni aucune apparence « illusoire.

« Il s'agirait à présent de dire quelle force a pu donner à ces « couches cette situation; comment elles ont pu être retroussées « de façon que les plus basses soient devenues les plus élevées. « La première idée qui se présente est celle des feux souterrains. »

Conduit à ces conclusions par une logique impérieuse, M. de Saussure recule cependant et cherche d'abord d'autres explications. Pour se rendre compte de ses hésitations, il faut se reporter aux doctrines de l'époque et se rappeler que l'école de la

Digitized by Google

géognosie allemande, la seule qui fît autorité, était ce que l'on appelait alors neptunienne, et n'admettait que l'action des eaux comme agent de la formation des roches, des montagnes et des vallées.

Ces observations se rapportent à l'année 1774, et déjà précédemment M. de Saussure, en parcourant le Jura et les environs de Genève, avait hasardé les mêmes conclusions en parlant des couches relevées de la Dôle : « On dirait que ces couches, chassées en haut par une force souterraine, ont soulevé de « part et d'autre des bancs qui sont demeurés appuyés contre « elles. »

Ces premières observations de M. de Saussure, sur l'origine des roches calcaires et argileuses qui forment les premières montagnes des Alpes et sur les perturbations qu'elles ont éprouvées, peuvent se répéter sur une multitude de points. Mais il n'en est pas de plus complets et de plus expressifs que les versants escarpés des deux vallées des Lutschines blanche et noire dans l'Oberland. Au-dessus du confluent des deux Lutschines, soit qu'on suive la vallée de Lauterbrunn jusque vers les glaciers qui descendent de la Jungfrau, soit qu'on suive celle de Grindenwald jusqu'au Wetterhorn, les versants présentent les calcaires jurassiques stratifiés en couches multipliées, avec tous les accidents et toutes les formes que peuvent produire les soulèvements. Tantôt les couches fortement inclinées montent rapidement du fond des vallées jusque vers les cimes qui les encaissent, tantôt elles sont brisées par des failles qui les rejettent, pliées en zigzag par des compressions latérales ou courbées concentriquement de manière à s'enrouler et se doubler sur elles-mêmes. Ces calcaires alternent avec de petites couches argileuses qui se dégradent et mettent en évidence la stratification et toutes les formes bizarres et complexes auxquelles elle a dû se plier.

Sans doute, c'est aujourd'hui un fait incontestable que celui du soulèvement des couches sédimentaires par les actions souterraines; mais on éprouve une certaine satisfaction lorsqu'on le voit exprimé avec cette précision et cette vigueur de dessin.

Digitized by Google

Revenons aux observations de M. de Saussure. Après avoir posé ces premières bases, il aborda, de 1776 à 1784, l'étude détaillée du massif du mont Blanc, étude qu'il publia en 1786. Il s'appliqua d'abord à définir la structure stratifiée des montagnes qui environnent l'axe culminant, structure qu'il indique jusque dans certaines aiguilles centrales très-rapprochées des granites-protogines; puis il arriva à signaler d'une manière toute spéciale les poudingues de Valorsine.

« A l'est de Valorsine, au-dessus du plan des Ceblancs, on « rencontre, dit-il, des blocs d'un schiste gris ou de couleur lie « de vin qui renferme une grande quantité de cailloux étrangers, « les uns angulaires, les autres arrondis et de différentes gros- « seurs, depuis celle d'un grain de sable jusqu'à celle de la « tête. Je fus curieux de voir ces *poudingues* dans leur lieu « natal; je montai pour y arriver; mais là, quel ne fut pas mon « étonnement de trouver leurs couches dans une situation ver- « ticale !

« On comprendra sans peine la raison de cet étonnement, si « l'on considère qu'il est impossible que ces poudingues aient « été formés dans cette situation.

« Que des particules de la plus extrême ténuité, suspendues « dans un liquide, puissent s'agglutiner entre elles et former « des couches verticales, c'est ce que nous concevons; mais « qu'une pierre toute formée, de la grosseur de la tête, se soit « arrêtée au milieu d'une paroi verticale, et ait attendu là que « des particules plus petites vinssent l'envelopper, la souder « et la fixer dans cette place, c'est une supposition absurde et « impossible. Il faut donc regarder comme une chose démontrée « que ces poudingues ont été formés dans une position horizon- « tale, ou à peu près telle, et redressés ensuite.

« La nature même de la matière qui enveloppe les cailloux « de ces poudingues rend le fait plus décisif. Le tissu de cette « pâte est d'une régularité et d'une finesse admirables; c'est un « schiste dont les feuillets élémentaires sont successivement « minces, mêlés de mica et parfaitement parallèles aux plans

« qui divisent les couches; ces couches mêmes sont très-régu-
« lières, bien suivies et de différentes épaisseurs; elles sont diri-
« gées du nord au sud, comme celles des roches granitiques qui
« sont au-dessous.

« Les bancs de ces schistes poudingues forment dans la mon-
« tagne une épaisseur d'environ cent toises, comptées de l'est à
« l'ouest, transversalement aux couches. Au-dessus, du côté du
« sud, se trouvent des ardoises dont les bancs sont un peu
« moins inclinés, et dont la direction est un peu différente.....
« Jusqu'à la plus haute limite du col de Balme, on marche
« toujours sur les sommités des couches presque verticales d'ar-
« doise qui dégénère quelquefois en grès feuilletés mêlés de
« mica.

« La masse entière de cette montagne, élevée de 1181 toises
« au-dessus de la mer, a donc été redressée par la même révo-
« lution; c'est-à-dire *que cette révolution a donné une situation*
« *verticale à toute la masse de ses couches formées originaire-*
« *ment dans une situation horizontale*. Car, toutes ces couches
« ayant à peu près la même situation que nos poudingues, ces
« poudingues étant enclavés dans le milieu de la montagne et
« ayant indubitablement subi ce changement, il est impossible
« de se refuser à croire que la situation de toutes les parties de
« la montagne a été originairement la même et que cette situation
« a subi le même changement par la même cause. »

Cette observation ne tarde pas à être généralisée, et M. de Saussure, se transportant aussitôt vers les montagnes du côté opposé de la vallée, s'exprime ainsi :

« J'étais là, en face des montagnes qui bordent le côté opposé
« occidental de la vallée de Valorsine, vis-à-vis du torrent de
« Barberine, qui sépare, en cet endroit, le Valais de la Savoie.
« Ce torrent, en entrant dans la vallée, passe entre deux hautes
« montagnes. Je voyais, de là, que les couches de ces deux
« montagnes sont verticales, ou à peu près, et qu'elles courent
« dans la même direction que celles que je viens de décrire.

« Je demande, à présent, s'il est prouvé que celles-ci n'ont

« pris une situation verticale que par une révolution qui a « changé leur position originairement horizontale; pourquoi les « montagnes vis-à-vis, de l'autre côté de la vallée, qui sont pré« cisément dans la même situation, ne devraient-elles pas aussi « cette situation au même bouleversement ou à une révolution « du même genre? »

M. de Saussure indique ensuite qu'il comprend les moyens de trouver l'époque de cette révolution qui a soulevé les Alpes en distinguant les roches affectées par les mouvements du sol, de celles qui sont restées dans la position où elles ont été formées.

Ainsi, après avoir signalé l'existence de roches calcaires et gypseuses qui lui paraissent de formation plus moderne, il cherche à savoir si ces roches ont été formées avant ou après la grande révolution qui a donné aux montagnes les formes qu'elles ont actuellement, qui a changé la situation originelle des couches et creusé la plupart des vallées.

Les conclusions de M. de Saussure peuvent être ainsi résumées : les Alpes sont principalement composées de roches stratifiées; ces roches ont été formées par voie de sédiment, et les accidents, les positions anormales qu'elles présentent sur beaucoup de points, prouvent que toutes les Alpes ont été produites par voie de soulèvement. Des soulèvements aussi énergiques constituent une véritable révolution de la surface terrestre, révolution dont on pourra reconnaître l'âge géognostique.

Ces conclusions étaient trop opposées aux idées de l'époque pour être accueillies. On lut beaucoup les voyages de M. de Saussure, on parcourut les Alpes après lui; mais, laissant de côté ses assertions sans les discuter, on ne s'occupa guère que de rapporter les terrains de ces montagnes aux divers termes de la série géognostique. Ce fut seulement quarante années après la publication du voyage dans les Alpes que ces observations furent reprises et complétées par M. Élie de Beaumont.

En 1828, M. Élie de Beaumont se plaçait au premier rang des

Digitized by Google

géologues de l'Europe par les travaux les plus remarquables sur la structure et l'origine des montagnes. Il écrivait en tête de ses *Recherches sur quelques-unes des révolutions du globe :*

« L'âge relatif des dislocations que les couches sédimentaires « ont éprouvées peut devenir un sujet d'étude aussi positif que « l'âge relatif des filons et des couches elles-mêmes. Il est évi- « dent que les redressements des couches ont eu lieu, dans « divers systèmes de montagnes, à des époques très-différentes « les unes des autres, puisque, dans les Alpes, par exemple, « toutes les couches secondaires et tertiaires sont également « redressées, tandis que, dans presque toute l'étendue des Vos- « ges et de l'Angleterre, les couches superposées au terrain « houiller ont à peu près conservé, par rapport à l'horizon, la « position dans laquelle elles ont été formées. »

Partant de ce principe : que les chaînes de montagnes qui sillonnent le globe ont été formées par soulèvement ; qu'elles affectent des directions spéciales pour chaque époque de soulèvement ; que, dans chaque système, le redressement des couches s'arrête brusquement à tel ou tel terme de la série des couches de sédiment et affecte avec une égale intensité toutes les couches précédentes, M. Élie de Beaumont étudia les diverses chaînes de montagnes, et les classa en les rapportant à une série de révolutions successives.

Les doctrines qui avaient entravé les observations et les conclusions de M. de Saussure furent opposées avec la même vivacité à celles de M. Élie de Beaumont. Aux théories neptuniennes de l'école allemande succédait déjà la géologie anglaise qui s'est imposé la tâche de démontrer que la surface du globe doit uniquement ses formes à l'action continue des phénomènes actuels. C'est l'école anglaise qui a jeté la géologie dans les détails minutieux de la paléontologie, qui a imposé aux observations des divisions indéfinies, des assimilations uniquement basées sur la comparaison des listes de fossiles, en faisant abstraction des grandes théories de MM. de Buch et Élie de Beaumont, qui peuvent seules permettre de se rendre un compte

Digitized by Google

logique et intéressant des grands phénomènes qui ont successivement modifié les surfaces terrestres.

Ces théories donnent aujourd'hui un intérêt tout spécial à un voyage dans les Alpes. On ne peut, en effet, y poursuivre les méthodes d'observations de l'école anglaise, et encore moins y appliquer ses conclusions. Les roches sédimentaires n'y contiennent que peu de fossiles; les roches y ont un faciès particulier, presque toujours semi-cristallin, qui défie les assimilations; il semble que la nature y soit exceptionnelle sous tous les rapports, par la composition des roches aussi bien que par leurs formes alpestres et leur altitude.

Ce qui repousse les géologues paléontologistes nous semble, au contraire, donner aux voyages dans les Alpes un intérêt toujours nouveau, intérêt qui résulte précisément de l'incertitude qui subsiste encore sur l'âge géognostique et sur le mode de formation minéralogique de ces roches, sur la variété infinie que leur ont imprimée les phénomènes du métamorphisme. La région des Alpes nous présente les plus grands résultats de l'action des soulèvements; nulle part, du moins en Europe, on ne trouve le sol si profondément entamé par des dénivellations aussi énergiques. Il est donc naturel d'y trouver également à leur maximum les altérations métamorphiques qui sont les résultats habituels des actions souterraines.

Cette région montagneuse qui s'étend de la vallée du Rhône aux plaines de la Lombardie, et de ces plaines à celles de la Bavière, ne présente pas la simplicité de construction et de structure d'une chaîne unique; plusieurs systèmes s'y croisent de manière à créer un dédale de crêtes, de vallées, de contre-forts et de déchirures, au milieu duquel il est souvent difficile de se reconnaître. Certaines parties des Alpes maritimes sont remarquables sous ce rapport. Dans les vallées de la Roja, de la Vesubia et de la Tinea, de même que dans les crêtes qui les encaissent et qui les limitent, on trouve en quelque sorte des directions pour tous les systèmes; il semble que le sol ait été soulevé comme les flots de la mer, sans ordre et sans direction coordonnée.

Les grandes Alpes présentent plus de simplicité ; leurs accidents principaux se rapportent à deux systèmes caractérisés à la fois par des directions distinctes et par des époques de soulèvement différentes, époques rapprochées et toutes les deux très-récentes.

Le système des Alpes occidentales ou du mont Blanc est dirigé du nord-nord-est au sud-sud-ouest ; il se croise avec les deux chaînes orientales qui, de l'Oberland et du mont Rose, s'étendent vers l'Autriche par des lignes fortement accusées, et dirigées de l'est 1/4 nord-est à l'ouest 1/4 sud-ouest. C'est, dit M. Élie de Beaumont, vers le croisement de ces deux systèmes que se trouvent les parties les plus hautes et les plus compliquées des Alpes, celles qui avoisinent le mont Blanc, le mont Rose, la Jungfrau et le Finsteraarhorn.

Passant ensuite à la recherche des époques de soulèvement :

« Lorsque, dit-il, on observe d'un œil attentif l'ensemble des « montagnes dont le mont Blanc forme l'axe ; lorsqu'on suit, « par exemple, la couche mince remplie de fossiles du terrain « crétacé inférieur et d'une constance de caractères si remar- « quables, qui, de Thonne et de la vallée du Reposoir, s'élève à « la crête des Fis (2700 mètres), on ne peut s'empêcher d'y « reconnaître, sur une échelle gigantesque, des traces de soulè- « vement encore plus certaines, peut-être, que celles que Saus- « sure a signalées plus près de la base du mont Blanc. »

Dans toutes les parties orientales et septentrionales des Alpes, le terrain que l'on désigne sous la dénomination de molasse et de nagelflue, et qui appartient à l'étage tertiaire moyen, est lui-même accidenté ; ce terrain s'élève au Righi à la hauteur de 1875 mètres. C'est la molasse coquillière en couches redressées qui forme les collines de Superga, près Turin, et, du côté opposé, elle se retrouve au pied occidental des montagnes de la Grande-Chartreuse. Ce dernier exemple est surtout frappant, ajoute M. Élie de Beaumont, parce que les couches de molasse qu'on voit se redresser jusqu'à la verticale, à l'approche des escarpements alpins, s'étendent horizontalement jusqu'au pied des

Digitized by Google

montagnes granitiques du Forez qui viennent border le Rhône à Saint-Vallier. Il résulte de cette circonstance une opposition non moins frappante entre les âges qu'entre les formes des montagnes arrondies du Forez et des premières crêtes des Alpes qui terminent si majestueusement, vers l'est-sud-est, l'horizon des rives du Rhône. Le soulèvement des Alpes occidentales est donc postérieur aux dépôts tertiaires moyens; il se trouve classé entre ces dépôts et les dépôts tertiaires supérieurs.

Quant aux Alpes orientales qui constituent la chaîne principale depuis le Saint-Gothard jusque vers les monts Sommering, leur soulèvement est encore postérieur; il a eu lieu après les derniers dépôts tertiaires qui, dans la région des Alpes, sont représentés par des couches de marnes, de sables et de cailloux roulés, désignées par M. Élie de Beaumont sous la dénomination d'alluvions de la Bresse.

Les dépôts supratertiaires de la Bresse sont des dépôts lacustres, dont les couches horizontales recouvrent les strates inclinées des molasses. Les eaux dans lesquelles ils furent produits couvraient l'espace aujourd'hui compris entre Tullins, Voiron et Dijon, ainsi que la partie des basses Alpes comprise entre Digne, Manosque et Barjols. Ces dépôts se retrouvent au nord des Alpes, vers les plaines de l'Alsace et du lac de Constance. Ils sont très-puissants et se distinguent des véritables dépôts alluviens des vallées actuelles en ce qu'ils ont été accidentés par les soulèvements des Alpes orientales et par ceux des basses Alpes qui suivent la même direction et se rapportent à la même époque.

Le dépôt de transport diluvien des vallées actuelles n'est nulle part affecté par les dislocations du sol; partout il s'étend sur les tranches des couches disloquées, sans présenter d'autre pente que celle que le courant qui le déposait a dû lui faire prendre à son origine.

Le soulèvement des grandes Alpes a donc eu lieu entre les alluvions en place des vallées actuelles et les alluvions tertiaires de la Bresse, dont M. Élie de Beaumont a constaté d'abord le

relèvement général vers les Alpes sous des pentes incompatibles avec leur mode de formation, et, de plus, les accidents généraux et profonds, très-visibles dans les basses Alpes, suivant les directions du Ventoux, du Leberon et de la Sainte-Baume, qui se rapportent à la direction générale des chaînes orientales.

Le principe de la formation des Alpes par voie de soulèvement étant démontré et les époques précisées, quel a été le mécanisme de ces soulèvements? Ils doivent nécessairement avoir obéi à des lois qui ont déterminé certaines conditions de formes et de structure géologique.

La série des observations relatives à ces questions intéressantes commence à M. de Saussure; elle a été précisée et complétée par MM. Léopold de Buch et Élie de Beaumont.

Le premier fait, révélé par l'observation, est celui des directions générales suivies par les crêtes principales des Alpes et par les grandes vallées. Ces directions linéaires se rapportent, ainsi que nous l'avons dit précédemment, à deux axes : l'un caractérisant les Alpes occidentales, dirigé du nord-nord-ouest au sud-sud-ouest; l'autre, suivi par les chaînes principales des Alpes orientales et se rapportant à des lignes dirigées de l'est 1/4 nord-est, à l'ouest 1/4 sud-ouest. Les montagnes qui suivent ces deux directions se croisent et s'enchevêtrent principalement vers Martigny, de manière à créer une certaine confusion; mais, à part ces exceptions locales, les directions linéaires sont assez nettement accusées.

Quelles sont les formes et les structures géologiques déterminées par ces soulèvements linéaires? Le mont Blanc, masse culminante de toute la région des Alpes, est, ainsi que nous l'avons dit, celle dont la base est la plus circonscrite eu égard à son altitude et qui peut le plus facilement permettre d'apprécier les phénomènes mécaniques qui se sont produits et les caractères de structure qui en sont résultés.

M. de Saussure avait constaté que le mont Blanc et les aiguilles qui l'avoisinent étaient composés de granites protogines, tandis

Digitized by Google

que les roches schisteuses, quartzeuses et calcaires dont quelques-unes fossilifères, formaient déjà les aiguilles qui s'éloignaient de cet axe culminant en s'abaissant vers les cols de Balme et de Ferret, d'une part, et vers les cols de la Seigne et du Bonhomme, d'autre part.

Les versants qui regardent le mont Blanc et qui encaissent du côté opposé les vallées de l'Allée-Blanche et de Chamonix, présentent à ce massif central des pentes et les pyramides les plus escarpées, tandis que, de l'autre côté, les versants sont généralement adoucis et s'abaissent graduellement. Les pyramides qui présentent comme le Brevant leur face escarpée au mont Blanc sont si nombreuses et si bien alignées suivant des lignes parallèles, leur altitude est si uniforme, que l'on croirait, dit M. de Saussure, lorsqu'il y a plusieurs rangées les unes derrière les autres, que ce sont des êtres animés qui vont se jeter contre le mont Blanc, ou que celles qui sont derrière les premières se dressent et se penchent en avant pour le mieux voir (Planche I). Lorsqu'il monte d'Eleva sur le haut du Cramont, il signale la disposition des couches calcaires, ascendante et inclinée dans le même sens que la pente de la montagne.

Ces formes sont en quelque sorte parlantes; c'est le massif central du mont Blanc qui a été soulevé, et qui a relevé sur ses flancs les terrains superposés qui forment les versants latéraux. Les couches qui formaient ces terrains ne pouvaient se prêter aux mouvements du soulèvement et se bomber de plus de 4000 mètres sans se rompre. Elles se sont rompues en s'écartant de l'axe du soulèvement : de là, la formation des déchirures longitudinales que représentent principalement les vallées de Chamonix et de l'Allée-Blanche; de là aussi les escarpements du Brevant et du Cramont, qui, si le mont Blanc venait à s'abaisser pour rentrer en terre, tendraient à se rapprocher et à se souder en s'abaissant eux-mêmes.

L'histoire du soulèvement se trouve ainsi indiquée par les formes de ces montagnes et de ces vallées, et l'un des plaisirs les plus vifs du géologue est de lire cette histoire exprimée par des

phénomènes si grandioses. Le massif soulevant du mont Blanc a surgi à travers une fissure longitudinale comme à travers une boutonnière, suivant l'expression dont s'est servi M. Élie de Beaumont. Les bords soulevés de cette boutonnière, ce sont les versants escarpés qui font face au mont Blanc et qui se rejoignent vers les cols extrêmes de la Seigne et de Balme. Les vallées qui entourent le massif soulevant sont des vallées de fracture qui, jointes par les cols, forment une sorte d'ellipse et constituent un *cratère de soulèvement*.

Si le soulèvement du mont Blanc avait été unique, les bords escarpés de ce cratère se raccorderaient par des pentes adoucies avec les plaines extérieures, et seraient seulement sillonnées de vallées divergentes. Il n'en est pas ainsi : des masses latérales ont également été soulevées de manière à modifier le dessin théorique du cratère de soulèvement.

L'étude de la composition et de la structure géologique du massif du mont Blanc vient d'ailleurs confirmer les hypothèses auxquelles a conduit l'examen des formes. Les roches les plus anciennes, ou du moins les roches inférieures, forment l'axe central et culminant autour duquel se trouvent les couches soulevées, les plus anciennes en regard des roches soulevantes, les couches supérieures rejetées au dehors par les écartements plus considérables que leur ont fait subir la rupture et la surélévation du sol.

Les dispositions de formes et de structure géologique qui expriment si bien le mécanisme des soulèvements du mont Blanc se reproduisent dans les Alpes orientales; mais les accidents du sol y sont moins régulièrement coordonnés, parce que les lignes de soulèvement de l'Oberland et du mont Rose sont en réalité composées de séries de soulèvements dont les phénomènes particuliers ne peuvent se reconnaître et s'isoler comme au mont Blanc. Néanmoins la chaîne de l'Oberland bernois présente une belle série de pics granitoïdes, à la base desquels se dressent les crêtes longitudinales formées par les terrains soulevés. De profondes vallées de fracture, perpendiculaires ou obliques à l'axe

de soulèvement, telles que les vallées des Lutschines blanche et noire, conduisent au pied même de cet axe. Quant à la chaine du mont Rose, le peu de contacts qu'elle présente avec les terrains modernes en rend l'étude géologique moins complexe; mais l'existence des protogines vers les sommités principales, son identité de direction avec la chaine de l'Oberland, enfin les terrains anthraxifères et jurassiques qui se trouvent sur quelques points, notamment au sud-ouest, l'identifient comme origine et comme âge aux autres parties des Alpes orientales.

Les époques de soulèvement des diverses chaînes qui constituent les Alpes orientales se déduisent de leurs directions identiques avec celles des Alpes françaises qui ont accidenté les dépôts alluviens de la Bresse et de la Provence. Ces dépôts manquent, il est vrai, dans la Suisse septentrionale; mais, d'une part, on y trouve les molasses plus généralement et plus vigoureusement accidentées que partout ailleurs; d'autre part, on assure que les plaines de la Bavière présentent, sur les flancs des premiers contre-forts alpins, des lambeaux d'atterrissements postérieurs à ces molasses. Ces atterrissements feraient en quelque sorte le pendant des alluvions de la Bresse, et leur relèvement attesterait l'âge identique de cette partie des Alpes.

Ainsi ces montagnes auxquelles, en raison de leur masse, on est toujours tenté d'attribuer un caractère d'antiquité la plus reculée, et du haut desquelles il semble qu'on aurait pu regarder toutes les révolutions qui ont produit les terrains sédimentaires des plaines environnantes, doivent, au contraire, être classées parmi les plus modernes.

S'il en est ainsi, les terrains qui forment les Alpes peuvent eux-mêmes être beaucoup plus modernes qu'on ne l'avait pensé d'abord; leur faciès, souvent compacte et semi-cristallin, peut résulter de conditions particulières ou de modifications qui auraient affecté non-seulement la stratification, mais la texture même des roches. Cette idée est presque aussi ancienne que celle des soulèvements; dans les Alpes surtout, elle se présente à l'observateur qui remarque la stratification en petits bancs et sou-

vent fissile des roches, les alternances fréquentes de schistes, calcaires, grès, poudingues et conglomérats, enfin les points multipliés sur lesquels on rencontre des débris organiques dans des roches dont le faciès minéralogique n'est pas ordinairement celui des roches fossilifères. Ce point de vue n'avait pas échappé à M. de Saussure; il y fait des allusions fréquentes et remarquables pour une époque à laquelle le mot de métamorphisme n'avait pas encore été prononcé. Ainsi, en décrivant les roches qu'il rencontre en abordant le massif du mont Blanc, du côté du col de la Seigne, on trouve, dit-il, des schistes argileux alternant avec des micaschistes quartzeux, des calcaires bréchiformes et des schistes ardoisiers. « Peut-être, ajoute-t-il, cette roche quartzeuse et micacée n'est-elle qu'un grès déguisé; peut-être aussi la nature ne s'est-elle pas astreinte à un ordre aussi précis que le supposent nos systèmes. »

Ces premières idées émises sur le métamorphisme des roches ne furent même pas relevées, et ce fut seulement quarante années plus tard que M. Élie de Beaumont établit que les montagnes granitiques des Alpes avaient surgi au milieu des terrains jurassiques crétacés et tertiaires, et que toutes ces roches, souvent semi-cristallines, devaient leurs caractères spéciaux à des modifications métamorphiques. Précisant ensuite ses assertions, il traça sur la carte géologique de France les contours des masses jurassiques en contact immédiat avec les roches granitiques, puis les terrains crétacés et tertiaires.

Les tracés géologiques de M. Élie de Beaumont reposent sur des observations qu'il est intéressant de se rappeler lorsqu'on parcourt les Alpes. Ces observations portent d'abord sur les schistes avec gîtes amygdalins d'anthracite qui existent en beaucoup de points et succèdent souvent aux roches talqueuses et cristallines, notamment à Petit-Cœur, en Tarentaise; à Servoz; aux Ouches, près de Chamonix; aux environs de Lamotte (Isère); à Moutiers; à Saint-Jean-de-Maurienne, etc.

Ces schistes et les bancs argilo-calcaires qui les accompagnent contiennent fréquemment des débris organiques qui ont été at-

Digitized by Google

tribués aux terrains du lias. Cette assimilation, basée sur des débris accidentels qu'un nouvel observateur, retournant aux mêmes lieux, ne peut pas toujours retrouver, paraîtrait peut-être un peu arbitraire, si M. Élie de Beaumont ne l'avait également démontrée par la continuité des couches. Ainsi, partant des couches incontestables du lias aux environs de Digne, il suivit ces terrains à droite et à gauche des roches cristallines de Saint-Christophe; de là au c l des Berches, aux montagnes calcaires situées au nord de la Grave, aux aiguilles de l'Arve et aux masses stratifiées des environs de Moutiers et de Saint-Jean-de-Maurienne, puis enfin jusqu'à celles qui avoisinent le mont Blanc.

Les couches supérieures au système du lias, et qui, par conséquent, correspondent au terrain jurassique, sont des calcaires schisteux contenant en quelques points des masses accidentelles de gypse, des schistes argilo-calcaires, des quartz compactes blancs dont le grain indique quelquefois l'origine arénacée, des quartz schisteux passant au grès, des schistes anthraxifères, enfin des calcaires gris, dont les puissantes assises couronnent souvent les escarpements des montagnes de second et de troisième ordre.

Ces schistes et calcaires couronnent en plusieurs points le système correspondant aux calcaires de la Porte de France, près Grenoble, et sont aussi le prolongement direct du système oolitique qui forme les plus hautes cimes du Jura.

L'ensemble des terrains stratifiés, considérés comme correspondant au lias et aux formations jurassiques, a, dans les Alpes, une épaisseur de plus de trois mille mètres. Cette puissance, triple de celle qui a été observée dans les terrains jurassiques bien caractérisés de France et d'Angleterre, a fait dire à M. Élie de Beaumont que peut-être la région des Alpes présentait l'état *pélagien* du dépôt dont les terrains jurassiques du nord de la France et de l'Angleterre représentent l'état *littoral*.

Mais la grande anomalie qui subsiste et qui jette un intérêt tout particulier sur la classification des terrains des Alpes, c'est

Digitized by Google

la profonde altération des roches. Il faut admettre, en effet, des transformations minéralogiques bien complètes pour assimiler les roches stratifiées semi-cristallines qui, par exemple, environnent le mont Blanc, aux dépôts généralement lithoïdes du lias.

Ces transformations sont d'autant plus extraordinaires, que, si les observations géologiques en ont constaté d'analogues, c'est toujours sur des espaces restreints et vers les contacts des roches sédimentaires avec des masses éruptives sorties du globe à l'état fluide ou pâteux. Dans les Alpes, au contraire, si l'on étudie de près les grandes masses de protogine qui forment les axes culminants, il semble difficile d'admettre que ces roches sont celles dont la sortie à l'état fluide ou pâteux a soulevé les Alpes.

Les masses et les aiguilles de protogine forment les axes des Alpes et occupent bien réellement la position ordinaire des roches soulevantes dans une chaîne de montagnes; mais ces masses et aiguilles affectent des formes qui ne sont nullement en rapport avec les formes des roches sorties à l'état pâteux. Elles sont, d'ailleurs, composées de roches granitiques, c'est-à-dire des roches éruptives les plus anciennes; or le soulèvement des Alpes se rapporte aux époques géognostiques les plus modernes. Ce rapprochement suffirait pour faire supposer que les protogines préexistaient au soulèvement des Alpes et qu'elles ont été soulevées elles-mêmes à l'état solide. Si elles se trouvent à l'axe culminant, c'est qu'elles étaient situées au-dessous de toutes celles qui forment les versants latéraux.

Presque tous les grands phénomènes de soulèvement ont cependant été produits sous l'influence de roches éruptives. Si les protogines étaient déjà sorties et solidifiées avant le soulèvement des Alpes, où sont les roches éruptives soulevantes? Ces roches, nous les voyons dans les serpentines, les amphibolites, les hypersténites et les mélaphyres qui se montrent sur un grand nombre de points du périmètre des Alpes et jusque dans le massif du mont Blanc lui-même.

Cette interprétation des formes et de la composition du massif

Digitized by Google

du mont Blanc fait disparaître les anomalies. Il n'y a plus à supposer des roches granitiques sortant de l'écorce du globe à une époque si peu distante de celle où les premières roches volcaniques de la France centrale et des bords du Rhin, les trachytes, faisaient eux-mêmes leur apparition. Il en résulte cependant une complication dans les phénomènes qui ont produit les roches et le relief des Alpes.

Les phénomènes métamorphiques qui ont si profondément transformé les roches secondaires des Alpes sont le résultat évident de la sortie des protogines. Ce sont elles seulement qui ont pu leur imprimer d'une manière générale ce faciès semi-cristallin où se retrouvent souvent leurs propres éléments.

Si, de plus, on examine la structure des roches relevées sur les flancs mêmes des masses granitiques, on voit que cette structure ne présente pas la simplicité d'un accident unique.

La partie supérieure du massif du mont Blanc comprise entre les sommités et les premiers plateaux, situés à des altitudes moyennes de plus de 2000 mètres, est celle qui est composée de protogines. Les roches stratifiées et par conséquent soulevées commencent, en général, sur ces premiers plateaux dont l'exploration est difficile, tant à cause de leur altitude que par l'accumulation des neiges qui y séjournent. Plusieurs points de contact ont cependant été étudiés, notamment par M. Venance Payot, le plus actif de tous les guides de Chamonix pour l'exploration géologique des Alpes. Les plans de contact paraissent très-nets sur les points étudiés; le contraste entre les roches cristallines et les roches stratifiées est assez prononcé pour qu'on puisse fixer le plan de séparation; mais les roches stratifiées sont d'autant plus altérées et chargées de principes talqueux qu'elles sont plus voisines de ce contact.

Sur les pentes des côtes des Ouches, des Bossons, du Montanvert, du Chapeau, etc., qui conduisent aux plateaux supérieurs, on rencontre le terrain anthraxifère avec anthracite et schistes à empreintes, des gypses et des dolomies exploités en plusieurs points, enfin des roches schisteuses de toute espèce. Ces roches,

au lieu d'être relevées suivant les pentes du soulèvement, présentent souvent des stratifications à contre-pente.

Ce désordre de la stratification n'est pas bien surprenant, si l'on admet, comme nous, que les dépôts secondaires avaient été déjà accidentés et profondément altérés par la sortie des roches granitiques, lorsque les soulèvements, bien autrement énergiques et caractérisés par des directions spéciales, firent surgir les protogines consolidées à de si grandes hauteurs, à travers les terrains déjà modifiés et mouvementés. C'est à cette seconde période de soulèvement que se rapportent les serpentines, les amphibolites et les mélaphyres qui se sont fait jour sur un grand nombre de points.

Cette succession de deux périodes d'éruptions et d'accidents explique la structure souvent si complexe des Alpes, et la difficulté d'en rapporter certaines lignes de soulèvement à celles qui ont caractérisé les soulèvements principaux.

Il reste à déterminer l'âge précis de ces premiers soulèvements, placés entre les dépôts jurassiques que les granites ont si profondément pénétrés et altérés, et les dépôts crétacés ou tertiaires auxquels ont évidemment échappé les surfaces principales des grandes Alpes, par suite d'une surélévation déjà acquise au-dessus des mers de ces époques. Si les parties centrales et méridionales des Alpes n'eussent pas été soulevées postérieurement aux terrains jurassiques, on trouverait en effet à leur surface les terrains crétacés, nummulitiques et tertiaires, soulevés sur les flancs des masses jurassiques et cristallines, comme on les trouve dans les montagnes septentrionales qui bordent la région des lacs de Genève, de Thun et de Brienz.

Ces questions diverses donnent encore un intérêt spécial aux excursions dans les Alpes, car il en résulte évidemment que les études géologiques n'y sont pas encore terminées, quoiqu'elles aient été bien avancées par les travaux que nous avons mentionnés et par des travaux postérieurs, notamment ceux de MM. Studer et Œscher, auxquels on doit la carte géologique de la Suisse.

Digitized by Google

Tout est sujet de recherches et d'observations dans l'étude minéralogique des Alpes. Lorsqu'on a trouvé, vers le col du Bonhomme, des calcaires dolomitiques pénétrés de talc et de cristaux de feldspath, l'intérêt a été purement local, ce sont des faits de métamorphisme. Mais, lorsqu'on retrouve ces calcaires au-dessus de Chamonix, sur les pentes qui séparent les glaciers des bois des Bossons et du Taconnay, l'intérêt s'agrandit ; ces calcaires sont évidemment les débris altérés et brisés d'une puissante assise du système des couches anthraxifères, dont les affleurements brisés doivent former autour du massif du mont Blanc une zone annulaire. Ces études se poursuivent chaque année, et la connaissance des terrains et des faits géologiques se complétera progressivement.

En résumé, l'observateur qui parcourt les Alpes y rencontre réunis sur un espace restreint et avec les accidents les plus propres à les mettre en évidence :

1° Les véritables terrains de transition représentés par des schistes cristallins micacés et des gneiss qui couvrent une grande partie de la région des Alpes méridionales, depuis la vallée du haut Rhône à partir de Brieg.

2° Des conglomérats et poudingues formant, dans la région des Montets de Valorsine et jusqu'à la Tête-Noire et à Trient, une sorte de passage des roches schisteuses aux terrains franchement secondaires.

3° Des schistes argileux contenant accidentellement des couches et des amygdales d'anthracite et présentant sur leurs feuillets les empreintes de toute la flore houillère. Ces schistes se lient à des schistes ardoisiers contenant des débris de bélemnites. L'ensemble des dépôts schisteux contient des bancs calcaires quelquefois transformés en dolomie et parsemés de minéraux accidentels, dont la présence paraît due aux actions métamorphiques.

4° Au-dessus de ces terrains problématiques, assimilés au lias par M. Élie de Beaumont, se développent les calcaires et les schistes franchement jurassiques, tantôt en assises massives,

plus souvent en petits bancs et en couches multipliées, et dont les plans de stratification mettent en évidence tous les phénomènes d'inclinaison, de courbures et de refoulement signalés par de Saussure.

5° Des calcaires généralement en couches très-puissantes avec des schistes délitables représentent les diverses formations du terrain crétacé. Ces formations constituent surtout une partie des montagnes qui forment la lisière septentrionale des grandes Alpes. Les Salèves, les calcaires de Bonneville et de Cluses jusque vers Maglan, les montagnes schisteuses et calcaires qui dominent directement les lacs de Thun et de Brienz, telles que le Faulhorn, le Rothhorn, etc., présentent des gisements classiques du terrain crétacé qui ne forme généralement que des montagnes plus éloignées des axes de soulèvement et moins élevées que celles des terrains précédents.

6° Le terrain de grès grossiers, conglomérats, etc., désigné sous les dénominations de molasse suisse, flysch et nagelflue, recouvre tout l'espace situé au nord des lacs de Genève, de Thun, des Quatre-Cantons et de Constance. Bien qu'il s'élève à des hauteurs considérables sur quelques points, au Righi, par exemple, il ne forme en général que les plaines et les collines, telles que celles qui environnent Berne, Fribourg, Lucerne, etc. Les vallées qui y sont creusées présentent sur leurs versants escarpés de nombreuses carrières, où toutes ces villes puisent les pierres nécessaires à leurs constructions.

7° Les roches granitoïdes et presque exclusivement la série des protogines qui ne se trouve guère que dans les Alpes, avec cette variété de caractères. Ce sont presque toutes les masses et aiguilles culminantes élevées au-dessus des neiges éternelles qui ne peuvent s'arrêter sur leurs pentes escarpées, et dont les formes éminemment pittoresques donnent au pays un aspect si caractéristique.

8° Une série plus variée encore de serpentines, amphibolites, hypersténites, mélaphyres, etc., forment des filons et des gîtes sporadiques et multipliés. Ce sont ces roches auxquelles nous

Digitized by Google

attribuons le soulèvement des Alpes. Leurs gîtes sont principalement visibles dans la région méridionale, mais on trouve presque partout, sinon les roches en place, du moins le témoignage de leur existence par les débris qu'apportent les moraines des glaciers.

Que l'on joigne à l'étude de ces divers terrains et de toutes les subdivisions géognostiques dont ils sont susceptibles l'étude minéralogique des roches et surtout des roches métamorphiques et de leurs minéraux accidentels, et l'on verra qu'il est peu de contrées qui présentent des sujets aussi variés d'observations sur un espace restreint. Sans doute, cet espace est d'un parcours difficile, quelquefois impossible ; mais la marche descendante des glaciers amène dans les vallées et sous les yeux de l'observateur le résumé de la composition minéralogique de tous les pics et de tous les versants supérieurs.

CHAPITRE VII

GITES MÉTALLIFÈRES.

FILONS OU GITES RÉGULIERS; GITES IRRÉGULIERS; FILONS, VEINES OU AMAS DE CONTACT; GITES ÉRUPTIFS; GITES IRRÉGULIERS MÉTAMORPHIQUES.

Les minerais de la plupart des métaux usuels sont extraits de *gites* accidentels et circonscrits, qui ont été intercalés dans les roches par des phénomènes spéciaux. Ces gites métallifères ne sont cependant pas des accidents fortuits; ils sont assujettis à certaines règles de gisement.

Les métaux ne se trouvent qu'exceptionnellement à l'état natif; sauf l'or, le platine et ses annexes, la nature nous les présente engagés dans des combinaisons plus ou moins compliquées d'où l'art métallurgique doit les extraire. Ces combinaisons ne se rencontrent elles-mêmes que bien rarement sous un volume un peu considérable, à l'état de pureté, et sont mélangées d'autres substances; de telle sorte que la dénomination de *minerais* s'applique à des minéraux complexes dans lesquels une combinaison métallique est en quantité suffisante pour être extraite par les procédés métallurgiques. En d'autres termes, un minerai est une roche métallifère susceptible d'exploitation.

Il entre dans cette définition une considération industrielle relative à l'emploi des métaux et surtout à leur prix commercial. Une roche contenant $\frac{1}{10}$ de fer ne sera pas un minerai de fer, tandis qu'on pourra donner le nom de minerai d'argent à des masses minérales qui ne contiendront que $\frac{1}{500}$ d'argent, et

Digitized by Google

celui de minerai d'or à des masses dont la teneur sera généralement au-dessous de $\frac{1}{1000}$. Pour les principaux métaux, les limites inférieures des minerais, c'est-à-dire celles au-dessous desquelles on ne tente plus l'abatage des roches métallifères, peuvent être actuellement établies ainsi qu'il suit, en supposant que ces roches soient consistantes : le fer $\frac{1}{4}$, le plomb $\frac{1}{30}$, le zinc $\frac{1}{20}$, le cuivre $\frac{1}{50}$, l'argent $\frac{1}{1000}$, l'or $\frac{1}{10000}$. Les procédés actuels d'exploitation et de métallurgie ne permettent guère l'extraction au-dessous de ces teneurs.

On appelle *gangues* les substances qui accompagnent les combinaisons métallifères. Les gangues varient souvent de composition et de caractères, suivant les métaux qu'elles accompagnent. Tantôt elles sont tout à fait distinctes et faciles à séparer des parties métallifères; tantôt leur mélange est si intime, qu'on est obligé de fondre le tout ensemble. On considère souvent les gangues dont on ne peut se débarrasser par un simple cassage et triage comme faisant partie des minerais.

Quant à la dénomination de roches métallifères, elle est beaucoup plus étendue et s'applique ordinairement au terrain qui contient à la fois les gangues et les minerais. C'est ainsi que certains porphyres ont été appelés porphyres métallifères, parce qu'ils accompagnaient souvent les gîtes de minerais.

Les différences les plus prononcées distinguent les gîtes métallifères des gîtes généraux ou roches. Les gîtes généraux sont toujours en couches ou masses qui doivent être regardées comme contemporaines des terrains dont ils font partie ; les gîtes métallifères affectent, au contraire, des formes spéciales, indépendantes de la stratification, et qui leur assignent une origine postérieure aux terrains dans lesquels ils se trouvent enclavés. Sous le rapport minéralogique, beaucoup de substances nouvelles entrent dans la composition des gîtes métallifères, et celles qui sont communes aux deux classes présentent des caractères spéciaux qui peuvent les faire distinguer dans les deux positions.

Gîtes réguliers et gîtes irréguliers. — Les gîtes métallifères

Digitized by Google

Digitized by Google

se rapportent à deux types de formes : 1° les *filons* ou gîtes réguliers; 2° les *amas*, *veines*, *stocwerks*, et les *gîtes métamorphiques* ou gîtes irréguliers.

Les gîtes réguliers ou filons sont des masses minérales aplaties, comprises sous deux plans à peu près parallèles, et coupant la stratification des terrains dans lesquels ils se trouvent. On peut se les représenter comme des cassures ou fentes plus ou moins considérables faites dans l'écorce du globe, et postérieurement remplies par diverses substances minérales parmi lesquelles se trouvent souvent les minerais. La masse d'un filon est donc une plaque à parois plus ou moins ondulées, de la dimension de la fente préexistante, et dont la position n'a aucun rapport avec la stratification du sol, de même que sa composition est généralement tout à fait distincte.

La dénomination d'amas n'entraîne aucune forme déterminée, non plus que celle de stocwerk, qui s'applique aux amas dans lesquels le minerai est plutôt disséminé dans les fissures des roches que rassemblé en masses dont on puisse figurer les contours.

Ces définitions sont d'autant plus vagues, qu'il existe des transitions fréquentes entre les gîtes en filons et ceux en amas ; et l'on ne saurait se rendre compte des formes, de leurs variations et de leurs accidents, si l'on n'a d'abord été fixé sur le mode de formation de ces gîtes. Nous avons dit que les filons devaient être considérés comme des fentes produites dans la croûte solide du globe ; ces fentes ont été remplies postérieurement par des gangues provenant à la fois des influences extérieures et intérieures, c'est-à-dire par des matières venues de haut en bas et de bas en haut ; ces gangues se sont pénétrées de combinaisons métallifères, qui toutes paraissent devoir être attribuées à des émanations souterraines.

L'origine des amas et des stocwerks doit être considérée comme se confondant avec celle des filons sous le rapport du mode de remplissage ; mais, sous le rapport des phénomènes qui ont déterminé la forme des gîtes, il existe des distinctions

Digitized by Google

essentielles. Les amas paraissent liés d'une manière bien plus immédiate aux grandes perturbations géogéniques qui, à des intervalles différents, ont accidenté la surface du globe. Comme gisement, leur connexion avec celui des roches ignées est bien plus intime; souvent même, la sortie directe des amas métallifères paraît avoir été, comme celles des roches ignées elles-mêmes, le résultat d'une action expansive agissant énergiquement de bas en haut, soulevant et brisant les dépôts sédimentaires superposés.

Nous énonçons ainsi à l'avance le mode de formation des filons et des amas métallifères, afin de faciliter l'appréciation des phénomènes multipliés qu'ils présentent. Le principe de cette origine n'est plus, en effet, un problème à résoudre, et ce premier énoncé du théorème aura l'avantage de nous dispenser de faire continuellement ressortir les conclusions qui résultent des moindres détails descriptifs. Nous en trouverons successivement les preuves : dans la composition et la structure des gîtes métallifères; dans leurs formes ou allures, enfin dans les relations qui existent soit entre eux, soit avec les terrains encaissants.

Indiquons de suite quelques termes techniques employés dans les mines pour désigner les diverses parties des gîtes. On appelle *toit* (hangende) le plan droit ou ondulé qui forme la limite supérieure d'un gîte; le plan inférieur est le *mur* (liegende). Souvent le toit et le mur sont séparés du gîte par des roches détachées et d'une autre nature que la masse : ces parties sont les *salbandes* (saalbander). On appelle *épontes* les portions de roches encaissantes qui forment le toit ou le mur. Les points où le gîte perce à la surface du sol sont les *affleurements*. La ligne d'intersection d'un plan horizontal avec le plan d'un filon en détermine la *direction;* l'*inclinaison* est l'angle que forme le plan du filon avec l'horizon.

Les faits relatifs à la constitution des filons métallifères sont aujourd'hui si nombreux, qu'il est à la fois difficile de les classer et d'en présenter un résumé succinct. Les divers caractères

qu'on peut étudier dans ces filons sont, en effet, solidaires à tel point, qu'on ne peut guère les isoler complétement. Tâchons cependant d'examiner méthodiquement ces différents points, qui sont : 1° la *composition* et la *structure* des filons métallifères ; 2° leur *forme* et leur *allure;* 3° les *relations* des filons entre eux et leur *groupement* dans les divers districts métallifères ; 4° enfin, les conditions principales de la *distribution intérieure des minerais*. Nous examinerons successivement les faits relatifs à ces quatre divisions, en nous appuyant sur des exemples tirés des contrées les plus classiques et les mieux étudiées.

Composition et structure intérieure des filons métallifères. — Les filons constituent la plus grande partie des gîtes métallifères autres que ceux du fer. C'est en vertu de cette importance, et parce que leurs formes sont assujetties à des lois de continuité et de régularité plus faciles à saisir, qu'ils ont été de tout temps l'objet d'études particulières.

Werner, placé dans une des contrées les plus riches en filons, et en filons plus variés et plus réguliers que partout ailleurs, a fourni, par ses travaux, la base de la géognosie des minerais. Les conclusions théoriques qu'il a tirées de ses observations ont, il est vrai, subi des modifications complètes, mais ses observations ont subsisté, elles ont ouvert la voie à une théorie plus rationnelle aussitôt que les progrès de la géognosie ont pu y conduire.

L'étude des caractères des filons a une très-grande importance ; il suffira, pour la faire apprécier, de se reporter à ce que furent les travaux des premiers exploitants lorsqu'ils ignoraient les conditions de continuité, de direction et d'inclinaison des filons. On ne croyait alors à l'existence du minerai que lorsqu'on le voyait ; de là ces puits multipliés, souvent placés au hasard, ces travaux sinueux et incertains. Si, au contraire, nous parvenons, en étudiant les filons, à démontrer l'origine que nous leur avons assignée et les conditions qui en résultent, les travaux changeront de forme, et l'on pourra calculer à l'a-

Digitized by Google

vance à quelle profondeur, à quelle distance on rencontrera le plan d'un filon par un puits ou une galerie pratiqués dans le terrain qui le renferme. C'est en étudiant les caractères de composition, de structure et de forme des gîtes métallifères, leurs relations entre eux et avec le sol encaissant, qu'on pourra fixer ses idées et arriver à cette conviction qui peut seule donner naissance aux grands travaux.

Le caractère le plus saillant d'un filon, celui qui le fait distinguer dans un terrain quelconque, c'est sa *composition*.

En effet, les minéraux qui entrent dans la composition des filons métallifères n'ont, en général, aucune relation avec les roches encaissantes, sauf les cas où ils contiennent des débris de ces roches qui paraissent provenir d'écroulement des épontes pendant le remplissage du filon.

La masse des filons est, dans la plupart des cas, formée par les gangues, qui sont : 1° la *silice*, soit sous forme de quartz en tout ou partie cristallin, ordinairement translucide, et quelquefois en partie hyalin, soit sous forme de jaspes et d'agates diversement nuancés, contenant, comme dans le cas précédent, des poches ou fours à cristaux; 2° la *chaux carbonatée*, toujours cristalline ou spathique, qu'elle soit pure ou mélangée, et passant souvent à la dolomie cristalline, au spath calcaire ferrugineux (*braun-spath*), au fer spathique, au spath rose manganésifère ; 3° le *spath fluor*, soit pur et cristallin avec ses nuances multipliées, blanches, vertes, jaunes, roses, rouges, bleues, violacées, et ses belles cristallisations cubiques, soit mélangé avec le quartz ou le spath calcaire; 4° la *baryte sulfatée* blanche, laminaire ou cristallisée, avec ses formes de prismes, de tables biselées, de crêtes striées; 5° l'*argile* impure, quelquefois schisteuse, *letten* des Allemands, à laquelle il est difficile d'assigner une origine autre que la décomposition.

A ces gangues, il faut ajouter les oxydes de fer, qui jouent souvent le rôle de gangues relativement aux autres métaux, et les roches du toit et du mur en fragments empâtés qui donnent souvent à l'ensemble de la masse un aspect bréchiforme.

Digitized by Google

Ces diverses gangues remplissent les filons métallifères, concurremment avec les minerais qui s'y trouvent disséminés soit en veines ou petits filons isolés, soit en veinules, paillettes, grains ou rognons cristallins et cristaux disséminés. Il est rare qu'un filon rempli par ces gangues ne soit pas métallifère, du moins en partie. Les filons tout à fait *stériles* ne sont ordinairement remplis que de poudingues et de brèches composées de roches analogues aux roches encaissantes, ou de terres argileuses. Cependant il faut distinguer, dans le cas des filons d'argile, ceux qui sont appelés filons *terreux* ou *pourris*, et qui sont quelquefois très-riches en minerais; ils se distinguent des filons stériles en ce que la matière argileuse qui les remplit est le résultat de la décomposition des roches qui remplissaient les filons. Aussi arrive-t-il fréquemment que ces filons ne sont terreux que dans certaines parties, et qu'en les suivant sur une assez grande longueur, dans le sens de la direction et surtout de l'inclinaison, on arrive à trouver des parties moins décomposées ou même tout à fait saines.

Les matières qui remplissent les filons, gangues et minerais, sont à l'état cristallin; les roches provenant de l'écroulement des parois, ou tombées de l'extérieur, font seules exception à cette règle qui constitue un caractère spécial des gîtes particuliers. C'est l'exploitation de ces gîtes qui fournit en grande partie les cristaux isolés ou groupés qui ont servi à l'étude de la minéralogie. Les belles cristallisations de quartz, spath fluor, baryte sulfatée, spath calcaire ou dolomitique, jointes aux groupes cristallisés de galène, blende, antimoine sulfuré, cuivre gris, pyrites, cuivre carbonaté, etc., qu'on voit dans les collections minéralogiques, donnent cependant une fausse idée de cet état cristallin des filons. Tous ces morceaux de choix appartiennent aux géodes ou cavités dans lesquelles la cristallisation a pu se développer d'une manière complète; mais, dans les minéraux qui remplissent la masse du filon, l'état cristallin n'est indiqué que par une texture fibreuse ou clivable; les cristaux déterminables sont des cas exceptionnels.

Digitized by Google

Cette texture cristalline, jointe à la nature particulière des gangues, suffit pour signaler l'existence d'un gîte, et l'existence de ce gîte sera d'autant plus facile à constater que les roches du terrain encaissant seront plus lithoïdes. Pour reconnaître ensuite si le gîte est un filon ou un amas, il faut en consulter les caractères de forme et de structure.

La *structure* des filons est intimement liée à leur forme, et assujettie à des lois aussi intéressantes pour leur théorie que pour leur exploitation. Lorsque la composition n'éprouve pas de perturbations par le mélange des roches du toit et du mur, et que les gangues sont de plusieurs espèces, ces gangues ne sont pas mélangées confusément; elles affectent une disposition parallèle aux salbandes, et sont symétriques relativement au toit et au mur ; c'est-à-dire que, si, à partir du toit, l'on découvre une bande de spath calcaire, puis une de spath fluor, puis une de quartz, puis une autre de sulfate de baryte avec galène, on trouvera à partir du mur le spath calcaire, le spath fluor, le quartz et le sulfate de baryte galénifère, disposés dans un ordre identique et même avec des épaisseurs proportionnelles dans les deux parties ; cette structure est la *structure rubanée*.

Un filon sera donc composé de plaques successives, identiques deux à deux, et disposées symétriquement à partir du toit et du mur ; et, comme les ondulations du toit et du mur ne se correspondent pas dans la plupart des cas, les deux dernières épaisseurs de gangues ne pouvant se réunir sans qu'il y ait altération de cette loi de symétrie, il arrive souvent qu'une nouvelle espèce minérale, soit stérile, soit métallifère, remplit ces vides intermédiaires; d'autres fois il y reste des espaces vides, et c'est dans ces espaces que se rencontrent les *druses*, les *fours* ou *poches* à cristaux, qui sont encore un caractère distinctif de la structure des filons.

La structure symétrique se manifeste fréquemment par l'existence de salbandes interposées entre le toit et le mur. Ces salbandes, ordinairement argileuses, isolent le filon et facilitent beaucoup son exploitation, les filons ainsi détachés étant d'un

Digitized by Google

Digitized by Goo

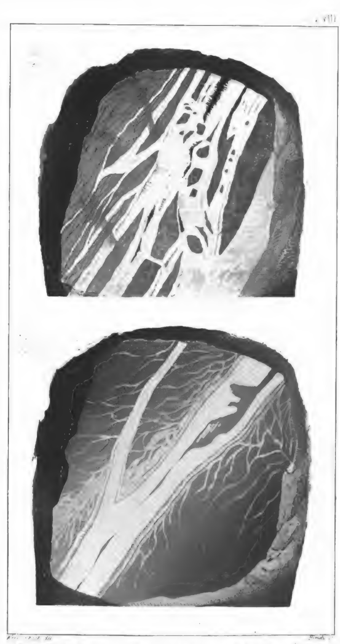


Fig. 1. Vue de la face [illegible] à l'extrémité de [illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible]

Digitized by Google

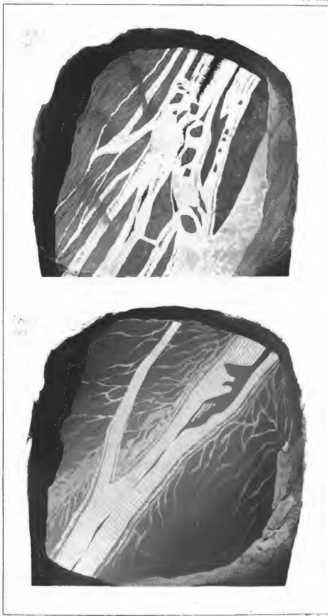


Fig. 1. Vue de la face [illegible] à l'extrémité de [illegible] galène [illegible] Freiberg
Fig. 2. Vue de la face [illegible] à l'extrémité de la [illegible]
[illegible] le filon [illegible] Freiberg [illegible] 295 [illegible]

abatage beaucoup plus facile que les filons qui adhèrent au toit et au mur. Du reste, la disposition de la masse du filon par strates doubles et symétriques n'est pas générale et absolue : le mélange de roches provenant du toit et du mur et de galets tombés de la surface a été un obstacle à ce qu'elle pût se développer, et nous avons dit que ce mélange était fréquent. D'autre part, il arrive aussi que les filons sont de composition trop simple pour qu'il y ait des distinctions à faire et pour que la symétrie soit visible. Mais, toutes les fois que le remplissage du filon a été tranquille et sans mélange hétérogène, toutes les fois qu'il y a variations dans les gangues, la loi de symétrie reparait avec une constance et souvent avec une perfection remarquables.

Cette loi est applicable, non-seulement aux variations de composition des gangues, mais à leurs variations de couleur et de structure. Elle est applicable à la présence de telle substance métallifère disséminée dans une même gangue ; en sorte que la coupe d'un filon peut présenter, à partir du toit et du mur, le quartz jaspe coloré, le quartz blanc cristallin, le quartz galénifère, la blende, en tout sept ou huit épaisseurs, symétriques et semblables deux à deux. On a signalé des filons où il y avait ainsi sept variations de composition, de structure ou de couleur, à partir d'une salbande jusqu'au centre. M. Daubuisson citait un des filons de Freiberg composé de couches successives de baryte sulfatée et de spath fluor disposées avec une symétrie tellement exacte de part et d'autre, qu'on n'aurait pu mieux faire, disait-il avec le compas.

Ainsi cette loi de structure symétrique peut être considérée, non pas comme une nécessité dans les filons, mais comme une circonstance de leur génération ; circonstance inhérente à leur origine et qui s'est constamment produite lorsque rien ne s'y est opposé.

Les exemples représentés par la planche VIII expriment très-bien les deux cas de la structure symétrique des filons. Dans le filon Neuhoffnunger-Flachen (fig. 2), cette structure est indiquée

par des salbandes régulières et des lignes qui les suivent même dans les ramifications. Dans le filon Peter (fig. 1), elle est troublée par des roches du toit et du mur et par des enchevêtrements, mais elle se reconnaît encore en prenant pour axes les lignes noires qui représentent les vides ou druses cristallines du centre.

La structure rubanée symétrique des filons est d'ailleurs la conséquence de la nature cristalline des gangues et des minerais qui les remplissent ; non-seulement elle est troublée toutes les fois qu'il y a remplissage par des matériaux tombés des parois ou de la surface, mais elle n'existe jamais pour les filons remplis mécaniquement par des argiles, grès, brèches ou conglomérats.

Les minéraux cristallins échappent, en effet, aux lois qui régissent la sédimentation. Si l'on étudie les dispositions que prennent des cristaux quelconques lorsque l'on fait cristalliser des substances, soit par voie humide, soit par voie sèche, on reconnaît que ces cristaux se fixent sur les parois verticales ou inclinées des cristallisoirs ou des cheminées de sublimation et s'accroissent suivant des plans parallèles à ces parois. Il en est de même pour les filons, et, soit que les matières cristallines qui les remplissent aient été produites par sublimation ou par précipitation, il est naturel de les trouver disposés en zones successives à partir du toit et du mur.

Il est d'ailleurs évident qu'il ne faut pas donner à ces lois de structure une extension absolue. Les diverses parties d'un même filon ont pu être soumises à des influences différentes qui en ont fait varier la composition; les ondulations des parois, la différence de leur position relativement aux éléments de remplissage, constituent encore des éléments nombreux d'irrégularité. Mais ces variations ne portent aucune atteinte aux règles de la structure, pas plus que les perturbations provoquées par les agents de remplissage mécanique: l'observation des plus petits détails vient à l'appui de cette hypothèse du remplissage normal par des plans d'accroissement à partir des salbandes.

Digitized by Google

Ainsi M. Daubuisson, après une étude des filons de Freiberg, écrivait : « Lorsque les matières ont montré une grande tendance à se former en cristaux, soit parfaits, soit imparfaits (quartz hyalin, quartz améthysé, spath calcaire, etc.), on remarque que la pointe des cristaux de forme pyramidale est toujours tournée vers l'intérieur du filon, le cristal étant à peu près perpendiculaire aux salbandes. Chaque couche prend en conséquence, sur celle de ses faces tournée du côté de la salbande, l'empreinte des cristaux de la couche adjacente, tandis que les cristaux qu'elle porte sur l'autre face semblent enfoncer leurs pointes dans la couche subséquente. Enfin les cristaux des deux couches du milieu, se présentant leurs sommets, s'engrènent les uns dans les autres et finissent par remplir le filon. »

Les filons ont donc des caractères spéciaux, non-seulement par leur composition, mais encore par le groupement et la structure des éléments constituants ; enfin, ils en ont encore par les substances accidentelles qui s'y trouvent disséminées. Nous ne pouvons citer d'exemple plus frappant que celui des filons argentifères d'Andreasberg au Harz. L'argent antimonial, l'argent rouge, la galène et l'arsenic natif donnent un caractère particulier aux minerais qui en sont extraits ; les gangues de spath calcaire à géodes cristallines, où se trouvent en outre des zéolithes remarquables, telles que l'harmotome, la stilbite, l'analcime, etc..., constituent un second caractère non moins spécial. Les minerais se trouvent principalement rassemblés en une zone centrale et forment dans les galeries et dans les ouvrages en gradins des rubans très-distincts. Cette zone, à laquelle la forme testacée de l'arsenic donne une structure ondulée, était très-développée au 33e étage du Samson (650 mètres de profondeur), elle occupait le centre d'une bande de spath calcaire qui formait du filon.

La figure 33 représente l'aspect de gradins renversés, taillés dans cette partie du filon, et met en évidence l'apparence générale du rubanement, qui se manifeste même dans la manière dont les roches se brisent.

Digitized by Google

Nous avons dit que les filons métallifères sont très-souvent détachés du toit et du mur par des salbandes argileuses qui les rendent d'une exploitation plus facile que ceux qui sont *adhérents* aux épontes.

Fig. 33.

Sans qu'il y ait adhérence et sans qu'il y ait isolement des gangues métallifères par des salbandes métallifères, on trouve souvent les épontes des filons rayées par des *stries* plus ou moins profondes ou même polies, et présentant ce que les mineurs appellent des *miroirs*.

Ces surfaces striées ou polies sont évidemment dues aux frottements qu'ont dû éprouver les parois de la fracture. Leur existence supplée quelquefois aux salbandes et facilite l'abatage complet que les mineurs appellent le *dépouillement* du filon.

La structure rubanée des minerais et des gangues ne peut pas toujours être attribuée à des faits de cristallisation. Dans certains cas, elle résulte de ce que la fracture primitive a été successivement agrandie, de telle sorte que des plaques minérales ont été accolées les unes aux autres par les actions qui remplissaient les écartements successifs. Des observations qui démontrent ces détails de formation ont été faites sur beaucoup de points, notamment à Kurprintz, en Saxe, où l'on exploite un filon dont les druses et géodes cristallines ont été brisées ; on

Digitized by Google

retrouve aujourd'hui les fragments de ces druses déplacés et soudés par d'autres minéraux évidemment postérieurs à la dislocation. Des faits de même nature ont été constatés dans les filons de la Sierra de Los-Santos en Andalousie, dans les filons de Mouzaïa et des environs de Tenès en Algérie.

La structure rubanée des filons est très-souvent troublée par le mélange des roches du toit et du mur. Dans les districts métallifères du Taunus et du Westerwald, sur les bords du Rhin, les roches du toit et du mur forment presque tout le remplissage des filons et le rubanement disparaît presque entièrement. On n'en retrouve plus de traces qu'entre les divers minerais, blende, galène et fer spathique, lorsqu'ils s'isolent sur des espaces un peu considérables.

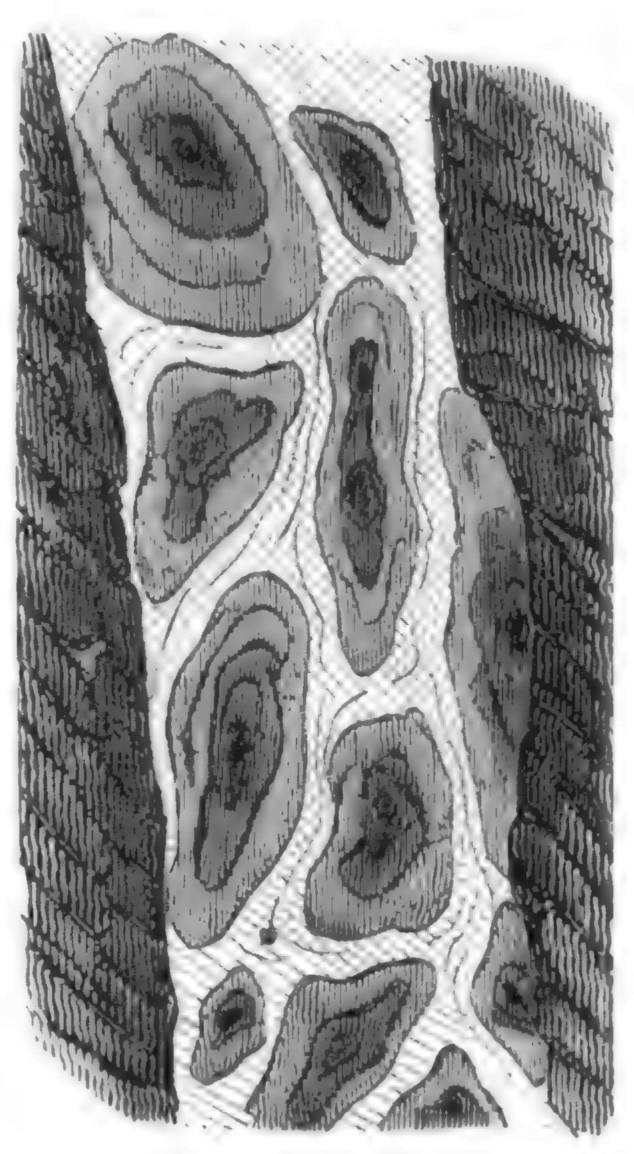


Fig .34.

Toutefois il y a beaucoup de filons qui, bien qu'uniquement composés de gangues spéciales et de minerais, ne sont pas rubanés. Ces filons portent le cachet d'une grande unité d'origine ; et, tandis que les filons rubanés donnent l'idée d'une succession des matières constituantes, toutes ces matières semblent contemporaines dans les filons à structure amygdaloïde, où les minerais et les gangues forment des sphéroïdes à zones concentriques.

Le filon de Ventura, dans la Sierra-Morena (fig. 34), est un

Digitized by Google

des exemples les mieux caractérisés qu'on puisse citer de cette

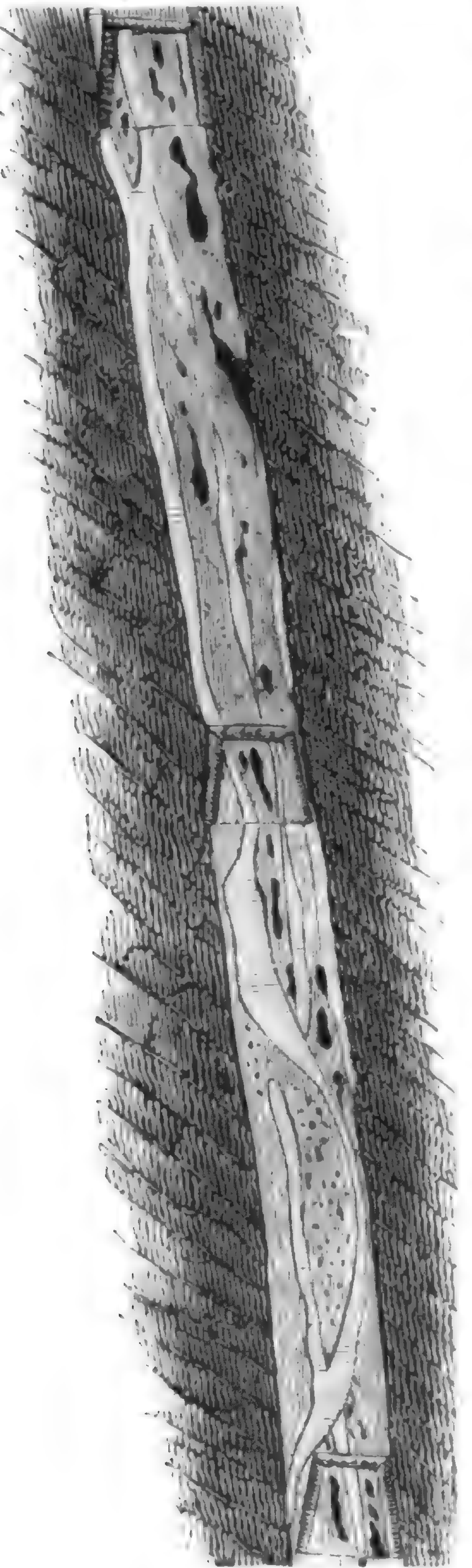


Fig. 35.

structure. Un noyau de minerais sulfurés y est, par exemple, entouré de zones successives de spaths qui forment ce qu'on peut appeler le bain, et c'est le quartz qui forme les nodules, ainsi qu'on l'a observé dans quelques filons de fer spathique du Dauphiné.

Cette structure amygdaloïde à zones concentriques se trouve exprimée d'une manière très-complète dans quelques filons spathiques du Westerwald, notamment dans celui d'Anxbach. On la retrouve en quelques points du Harz, où la galène, la blende et le braunspath se présentent groupés de la même manière.

Dans un grand nombre de cas, les filons, n'étant composés que d'une seule et même substance, de quartz par exemple, ne présentent aucun trait particulier de structure, et ce n'est plus que dans les parties métallifères qu'on peut observer quelques signes caractéristiques.

Lorsqu'on veut figurer l'apparence d'un filon, on trace généralement une coupe de son plan par un plan perpen-

Digitized by Google

diculaire. C'est ainsi que la figure 35 représente un des filons de Mouzaïa, sur une hauteur d'environ 30 mètres. Dans cette coupe, due à M. Pothier, le fer spathique est représenté par des hachures parallèles au toit et au mur; la baryte sulfatée par des hachures horizontales; et le cuivre gris, qui fait l'objet de l'exploitation, par des teintes noires. On voit ainsi que le rubanement, considéré sur une grande hauteur, est beaucoup moins régulier que lorsqu'on le considère seulement sur le fond d'une des trois galeries indiquées. Cette coupe met aussi en évidence diverses circonstances de groupement des substances constituantes, sur lesquelles nous aurons occasion de revenir.

Lorsqu'une galerie vient à rencontrer un filon, deux cas peuvent se présenter, suivant les positions relatives du plan du filon et du plan de la galerie.

Si le filon est rencontré par une galerie en direction ou à peu près, et qu'il soit de moindre dimension que la galerie, il se dessinera sur le plan vertical du fond de la galerie, sous forme d'une bande inclinée, comme le filon dit Gottlober Morgen représenté par la figure 2 de la planche VII; ce sera une coupe du filon perpendiculaire à son plan. Si au contraire le filon a été croisé par une galerie de traverse, ce sera, au fond de la galerie, une coupe du plan du filon incliné à 45°, par exemple, par un plan vertical. Alors la section du filon présentera une trace horizontale, et ce sera sur les parois de droite et de gauche de la galerie qui aura traversé les filons qu'on pourra voir sa coupe dans l'autre sens et juger son inclinaison. Ainsi les figures 1 et 2 de la planche X, empruntées au mémoire de M. de Veissembach, et qui font voir, sur des fonds de galeries, des rencontres de filons, présentent les traces verticales des filons *croiseurs* et les traces horizontales des filons *croisés*.

Formes et allures des filons. — Nous avons défini les filons comme des masses minérales comprises sous deux plans parallèles qui coupent généralement le plan de stratification des terrains encaissants sous des angles quelconques, et quelquefois suivent ce plan.

Digitized by Google

A la surface, un filon se manifeste soit par des affleurements continus et linéaires, soit par des affleurements interrompus qui suivent une *direction* donnée et se rattachent à une même ligne droite ou légèrement ondulée.

Si l'on vient à excaver le sol et à pénétrer dans ses affleurements, on ne tardera pas à reconnaitre que la plaque minérale qui les constitue s'enfonce suivant une *inclinaison* déterminée. Il y a, par conséquent, un *toit* et un *mur* immédiatement reconnaissables.

La direction et l'inclinaison une fois constatées, on connait le *plan du filon;* et, l'expérience ayant démontré la continuité de ce plan sur des espaces ordinairement considérables, il est facile de déterminer la profondeur à laquelle on doit rencontrer un filon en un point donné du district qu'il traverse. On peut également, sur un versant quelconque, indiquer quels sont les travaux, puits ou galeries, qui doivent l'atteindre le plus promptement.

Les *affleurements* sont donc les premiers indices de l'existence des filons, et, si la composition des roches suffit pour révéler l'existence d'un gîte métallifère, la forme de leurs saillies n'est pas moins significative pour en indiquer les conditions d'allure.

Ainsi, dans un grand nombre de cas, les roches qui constituent les filons sont plus dures et plus résistantes que les roches encaissantes. Il en est résulté que les agents atmosphériques, en dénudant et ravinant le sol, ont déchaussé les filons, et que ceux-ci forment des saillies plus ou moins prononcées, plus ou moins continues.

L'Algérie nous présente un exemple frappant de ce phénomène d'affleurements sur le versant méridional de l'Atlas, au-dessous du col de la Mouzaïa (planche IX). Plusieurs filons, composés de fer spathique et de baryte sulfatée, contenant du cuivre gris disséminé, traversent, en ce point, des alternances marneuses peu consistantes. Les pluies ravinent sans cesse ces pentes argileuses, et les filons, d'une désagrégation moins facile,

forment des saillies ou affleurements très-prononcés. Ces saillies constituent des murailles linéaires, souvent élevées de quatre à cinq mètres, qui permettent à l'œil de suivre la marche des filons à travers le sol. On voit, sur la planche ci-jointe, les affleurements des deux filons parallèles, Aumale et Montpensier, poursuivre leur course au milieu des montagnes et des ravins, des bois et des landes, et traverser les couches successives de la formation crétacée.

Au pied des affleurements, le sol est jonché de débris épars, décomposés par le temps ainsi qu'une partie des affleurements eux-mêmes. Cette décomposition a donné les teintes jaunes des oxydes de fer, et les teintes vertes et bleues des carbonates de cuivre aux diverses parties où dominaient ces éléments ; de telle sorte que le changement de la composition du sol s'annonce de loin à l'observateur, aussi bien que le changement de forme qui résulte de la présence des filons.

Les phénomènes d'affleurement sont rarement aussi prononcés, aussi nets que ceux qui sont représentés par la planche IX. Les bois, la culture, suffisent pour les cacher, et souvent l'existence de filons de plusieurs kilomètres de longueur est à peine visible à la surface. C'est alors qu'il faut s'aider de tranchées artificielles pour les mettre en évidence et les suivre dans leur course.

Le plan d'un filon étant bien déterminé, soit par l'étude des affleurements, soit par des travaux superficiels, il convient de l'attaquer par des travaux souterrains, c'est-à-dire de le joindre en profondeur par un puits ou par une galerie.

Si l'on croise un filon par un travail souterrain, il se manifeste un changement de composition limité par les lignes du toit et du mur. Tel est, dans la planche VII, le filon Gottlober-Morgen, près Freiberg, représenté au fond d'une galerie; on peut de suite mesurer sa puissance, qui est de $0^{m},45$, son inclinaison, qui est de 80 degrés, et prendre sa direction dans la galerie.

Lorsque les filons s'enchevêtrent dans les roches du toit et du

mur, comme le filon Peter (planche VIII), exemple pris également aux environs de Freiberg, les mesures de direction et d'inclinaison ne peuvent plus s'obtenir que par des lignes moyennes, résultant des observations que l'on a pu faire en suivant le filon sur une certaine longueur; la régularité de l'allure d'un filon étant souvent dérangée, non-seulement par les ondulations du toit et du mur, mais encore par des bifurcations et des rameaux qui partent du plan principal et s'en écartent plus ou moins.

Plusieurs filons parallèles sont souvent réunis de manière à former un faisceau; c'est ce que les Allemands appellent un *zug*. Les divers éléments de ces faisceaux, tantôt se réunissent dans leur course, tantôt s'isolent et s'écartent de manière à embrasser une épaisseur de terrain considérable. Telle est l'allure ordinaire des filons aux environs de Clausthal et Zellerfeld, où la dissémination des fissures d'un même zug embrasse, sur certains points, une épaisseur de plus de cent mètres.

Quelques-uns de ces faisceaux de filons sont remarquables par

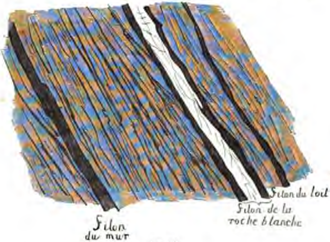


Fig. 36.

leur régularité. On peut, sous ce rapport, citer, comme type, le

Google

faisceau des filons d'Obernhof et d'Holzappel, dans le Nassau. Un filon principal, dit filon de la Roche blanche, composé d'un axe quartzeux et de deux bandes de blende, est accompagné de deux filons de blende et de galène, l'un placé au toit et l'autre au mur; les caractères de ces filons se maintiennent assez constamment pour qu'on ait pu les suivre et les exploiter sur plus de vingt kilomètres de longueur. La figure 36 exprime, à l'échelle de $\frac{1}{100}$, les conditions ordinaires du faisceau exploité à Holzappel.

Considérés dans l'ensemble de leur allure, les filons sont sujets à un grand nombre d'*accidents* et de variations de forme. Ils se renflent, se rétrécissent et sont même supprimés momentanément par des étranglements complets; souvent ils sont croisés par d'autres filons ou de simples fentes qui les interrompent et leur font subir des rejets; d'autres fois ils changent eux-mêmes de place par des courbures, des inflexions inhérentes à leur nature; dans certains terrains, ils sont nets et bien formés, tandis que dans d'autres ils se divisent et se ramifient.

Pour bien se rendre compte de ces variations d'allure, il faut se reporter à l'origine des filons. La première condition qui détermine les détails de forme d'une fracture, ce que nous appelons son allure, c'est la nature minéralogique et la structure des roches fracturées. Lors donc qu'un filon, traversant des roches d'une certaine nature passera dans d'autres roches, différentes par leur composition et leur structure, il changera nécessairement lui-même dans les détails de ses formes et dans l'ensemble de son allure. Dans des roches homogènes qui se fracturent nettement comme les gneiss de Freiberg, les filons seront droits et réguliers; dans des roches feuilletées comme les schistes d'Andreasberg, au Harz, les filons auront une allure ondulée et seront très-sujets aux ramifications.

Ces variations d'allure sont très-prononcées dans les filons de fer spathique cuprifère des environs de Tenès (Algérie), qui traversent à la fois des grès et des argiles délitables.

Dans les grès, les filons sont assez bien rassemblés, tandis que, dans les argiles, les fissures se multiplient et se disséminent

Digitized by Google

à l'infini. Les filons y jettent à droite et à gauche une multitude de rameaux qui suivent souvent la stratification du terrain et semblent au premier abord de petites couches intercalées. Mais

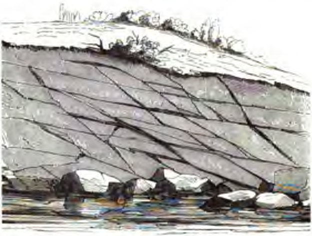


Fig. 37.

on reconnait, en même temps, que ces petites couches sont réunies entre elles par des veines qui coupent la stratification et croisent les premières, en formant des réseaux plus ou moins étendus (fig. 37).

Ces gites en *veines réticulées* existent surtout dans les parties argileuses et très-fissurées du terrain; la figure ci-dessus est un exemple de leur apparence ordinaire sur les berges des ruisseaux qui se trouvent au nord-est de Tenès.

L'influence des terrains encaissants sur la forme des filons est surtout appréciable lorsque l'on considère leur position relativement au plan de la stratification. Lorsque les filons sont concordants, c'est-à-dire lorsque le terrain a été en quelque sorte *clivé*

Digitized by Google

suivant les plans des couches, les filons partagent toutes les conditions de courbure de ces plans. C'est ainsi que, dans le Taunus et le Westerwald, les filons suivent fréquemment les plans de la stratification; aussi n'en voit-on nulle part qui soient si souvent et si fortement curvilignes.

On s'est longtemps servi, pour décrire les conditions diverses de l'allure des filons, d'une comparaison qui est assez juste. Que l'on coupe une feuille de papier suivant une ligne ondulée, et que l'on rapproche ensuite les deux sections en les déplaçant l'une par rapport à l'autre, on déterminera ce qu'on appelle une faille. Quelques points des sections ondulées se toucheront, mais il restera au-dessus et au-dessous de ces points de contact des vides qui représenteront la *coupe* du filon. Or cette coupe sera très-variable, suivant la nature des ondulations de la section. Si ces ondulations ont été faites profondément et également, la coupe présentera une série de vides amygdalins, puissants et séparés par des étranglements complets; si les ondulations sont profondes et inégales, l'allure sera continue, mais très-variable en puissance; enfin, si les ondulations sont peu profondes, on obtiendra des coupes de filons assez régulières et d'autant plus continues que les ondulations seront plus inégales.

Certains filons plombifères, qui ne sont qu'une série interrompue d'amas amygdalins, comme ceux de la Sierra-de-Gador en Espagne, peuvent servir d'exemple à la première hypothèse. Les filons puissants de Clausthal, au Harz, et de la Prusse rhénane se rapporteraient plutôt à la seconde; enfin, si les ondulations sont peu profondes, nous pourrions leur comparer les filons d'Andreasberg, de Freiberg, et les filons concordants d'Holzappel et Obernhof. Dans chacune de ces hypothèses, c'est évidemment la nature des roches fracturées qui est l'élément principal des conditions de l'allure des filons.

Que l'on étudie successivement les cartes des filons données ci-après : 1° la carte des filons argentifères des environs d'Andreasberg (planche XIII); 2° celle des filons de Consolidated mines, en Cornwall (planche XII); 3° celle des filons de Clausthal

et Zellerfeld, au Harz (planche XVI); 4° celle des filons de Freiberg en Saxe (planche XV), et l'on aura une idée des diverses conditions d'allure que peuvent suivre les filons.

On voit qu'un filon peut se courber et se ramifier comme à Andreasberg; qu'il peut se composer de lignes droites heurtées, qui, après une allure régulière, se ramifient à l'infini, comme aux environs de Clausthal; tandis que les environs de Freiberg fournissent l'exemple des plus belles lignes de développement.

Quant aux variations de détail, nous pouvons en prendre quelques exemples dans les filons d'Andreasberg, où les couches du terrain schisteux encaissant présentent des variations nombreuses, soit par l'interposition de bancs de kieselschiefer ou schistes siliceux, soit par celle des diorites, soit enfin par celle de gros filons fragmentaires et stériles, qui sont concordants et désignés sous le nom de *ruschels*.

Le kieselschiefer est une roche dure et résistante, qui fait très-souvent dévier un filon et l'oblige à le traverser obliquement. Cette déviation a pour résultat de rejeter le filon dans un autre plan. D'autres fois ce sont des couches très-fendillées dans lesquelles le filon se divise, se ramifie, et quelquefois même se perd.

Les ruschels ont presque toujours exercé une influence de cette dernière nature sur l'allure des filons, qui tendent à s'y

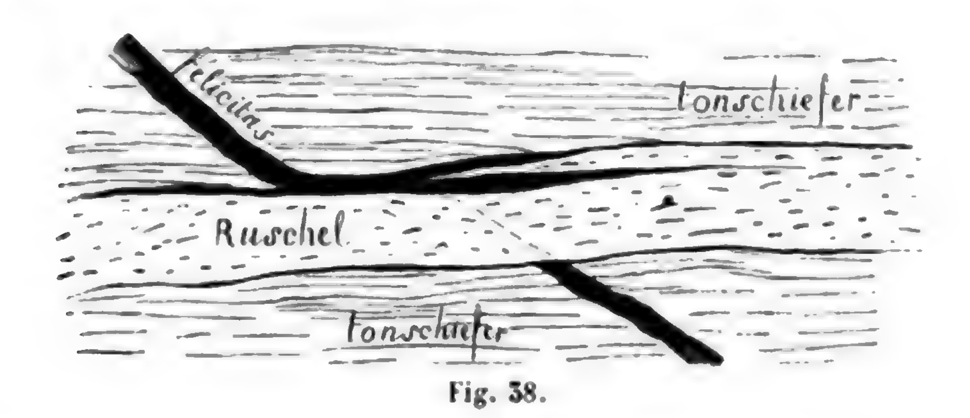


Fig. 38.

perdre, quoique leur direction soit presque perpendiculaire et leur inclinaison inverse. Ainsi, le félicitas, venant heurter la ruschel-silberburger, est le plus souvent complétement entraîné

par elle, et s'y perd en s'y ramifiant; d'autres fois, cet entraînement n'est que momentané, et le filon reparaît de l'autre côté, mais toujours après avoir éprouvé un rejet prononcé, ainsi qu'il résulte de la coupe horizontale ci-dessus (fig. 38).

Ce rejet tendrait à faire supposer que le filon métallifère est le plus ancien, si l'on ne voyait en quelque sorte le mécanisme de la déviation exprimé par un entraînement momentané.

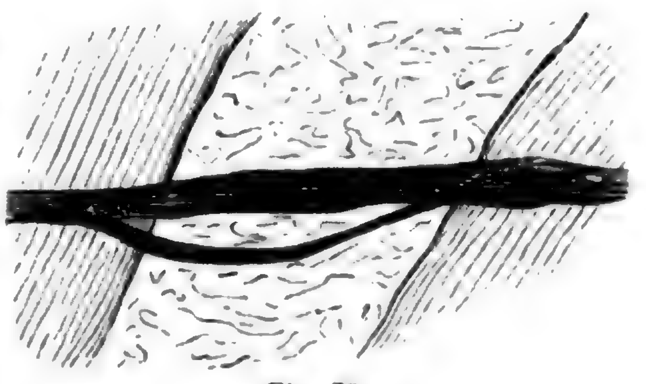


Fig. 39.

En beaucoup de points, le passage d'un filon d'une roche dans une autre détermine des ramifications qui, après s'être éloignées du filon principal, finissent par s'y souder de nouveau (fig. 39).

Comme les filons résultent de phénomènes postérieurs aux terrains encaissants, ils sont généralement indépendants de la stratification de ces terrains et la coupent sous des angles plus ou moins prononcés; mais il arrive quelquefois que leur direction coïncide avec celle de la stratification ou s'en rapproche beaucoup, et leur allure en est généralement modifiée. Cette direction partage, dans ce cas, les inflexions auxquelles sont ordinairement sujettes les couches, et il en résulte une allure ondulée dont les filons du Schwabengrube, dans le Stahlberg (planche XIV), peuvent donner une idée. Nous avons déjà signalé ces filons concordants comme très-fréquents dans les provinces du Taunus et du Westerwald, où, indépendamment des ondulations de leur allure, ils présentent de grandes variations de puissance.

Parmi les accidents inhérents à la constitution de ces filons, ceux qui peuvent le plus embarrasser sont les inflexions brusques qui les rejettent dans un autre plan, d'autant que ces parties infléchies sont très-souvent étranglées. Les mines d'Obernhof et d'Holzappel, ouvertes sur des filons concordants et de $0^m,50$ à $1^m,50$ de puissance, présentent des exemples fréquents

de ces inflexions contemporaines qui sont désignées sous la dénomination de *bancs*.

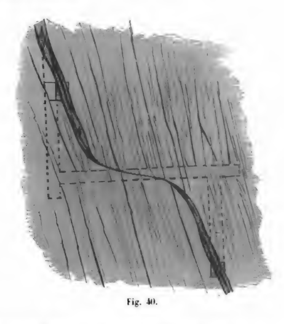


Fig. 40.

La figure 40 représente la disposition d'un de ces *bancs* dans les mines d'Holzappel.

Le filon est rejeté dans un plan parallèle distant de huit à dix mètres du premier ; la trace de son inflexion était si faible, qu'une galerie l'avait traversée sans qu'on l'eût aperçue, et que le filon n'a pu être retrouvé que par le foncement d'un puits intérieur.

Lorsque les filons traversent les alternances de couches dissemblables, la puissance et même la direction peuvent varier en passant d'une roche à l'autre.

Le filon d'Halzbrück, près de Freiberg, est un des exemples classiques de cette influence. L'axe de ce filon, au lieu de présenter une coupe en ligne continue, offre une ligne en zigzag, ou même une série de lignes parallèles qui se trouvent dans

Digitized by Google

des plans différents. En parcourant ainsi des couches qui diffèrent d'élasticité et de ténacité, les filons peuvent non-seulement éprouver des variations d'allure, mais aussi de puissance ; principe important, puisqu'il nous explique d'avance pourquoi des filons riches et puissants dans une roche sont étranglés, divisés et stériles dans une autre. Les filons plombifères qui traversent les calcaires du Derbyshire et du Cumberland sont des exemples bien connus de ces variations.

Dans quelques circonstances, des fentes ont été produites par le bombement du sol ; de telle sorte que les terrains préexistants, forcés de recouvrir un espace plus considérable, se sont fracturés lorsque la limite de leur élasticité a été dépassée. Les fentes ainsi produites sont plus larges à leur partie supérieure que dans toute autre, et leur coupe présente la forme d'un coin ; d'où leur est venu le nom de *filons cunéiformes*. Il est probable qu'une assez grande quantité des filons, qui ne sont pas des filons-failles, ont une origine analogue ; mais cette forme ne peut devenir appréciable qu'en descendant à de grandes profondeurs.

Un fait essentiel à mentionner, c'est que, s'il est beaucoup de cas où des filons se sont appauvris et ont diminué de puissance en profondeur, il n'en est pas un seul où l'on ait pu constater une limite inférieure. Ainsi donc, malgré les irrégularités des filons, toutes les fois qu'on aura constaté la direction et l'inclinaison de l'un d'eux, un travail fait pour aller le recouper en profondeur sera toujours certain, et ne sera exposé qu'aux chances ordinaires des variations de puissance ou de richesse, sans que la suppression en profondeur soit jamais à craindre.

Rien n'est plus variable que les *dimensions* des filons métallifères. Le filon argentifère de la Veta-Madre près Guanaxuato, au Mexique, est le plus puissant des filons exploités. Sa puissance varie de 30 à 45 mètres ; il a été suivi sur une longueur de plus de 12 000 mètres, et les travaux dépassent 400 mètres de profondeur. D'autres filons ont à peine quelques décimètres :

tels sont les filons stannifères du Limousin, qui varient entre $0^m,01$ et $0^m,03$. S'il est permis d'indiquer une moyenne dans des circonstances aussi variables, on peut dire que la puissance la plus ordinaire des filons est comprise entre un et deux mètres et qu'ils peuvent être suivis sur une longueur de 500 à 1000 mètres.

Parmi les filons célèbres par leur puissance, on peut citer le filon de La Croix, près de Sainte-Marie-aux-Mines, dans les Vosges; sa puissance est de 20 à 25 mètres. Mais le minerai est loin d'y être en rapport avec la puissance, et les exploitations, ouvertes de temps immémorial, ont été abandonnées par suite des frais nécessités par l'épuisement des eaux. Ce filon peut être suivi sur une longueur de 3000 mètres.

A Freiberg, une exploitation de quatre siècles a ouvert un filon sur une longueur de 3600 mètres et une profondeur de 380; le plus puissant de ce riche district est l'Halsbrück-Spath, qui a deux à trois mètres de puissance et environ 6000 mètres d'affleurement. Les filons d'Andreasberg, au Harz, ont été suivis jusqu'à 700 et 800 mètres de profondeur sans offrir de variation notable dans leurs conditions d'allure ou de composition.

Le filon Mordlauer, en Franconie, est considéré comme le plus puissant de l'Allemagne; il a de 10 à 12 mètres d'épaisseur sur un développement de 18 000 mètres en direction. Enfin, parmi les filons très-puissants, on en cite un à Schemnitz, en Hongrie, qui n'a pas moins de 40 mètres. Ces exemples du grand développement que peuvent atteindre les filons sont, d'ailleurs, tout à fait exceptionnels, et les filons de peu d'épaisseur, tels que ceux d'Andreasberg et de Freiberg, sont souvent d'une exploitation plus avantageuse que les filons très-puissants, où les roches du toit et du mur forment presque toujours les gangues dominantes.

Comme tous les caractères des filons, les dimensions offrent dans chaque district une certaine similitude. Ainsi, aux environs de Freiberg, la puissance d'*un mètre* est réellement une

moyenne. Cette moyenne est de 0,50 pour les filons d'Andreasberg, au Harz; tandis que, pour ceux des environs de Clausthal et Zellerfeld, elle est de 5 à 8 mètres. Les filons de 2 mètres sont les plus fréquents dans le Westerwald, ainsi que dans le district métallifère de la Sierra-Morena; enfin, le Cornwall nous ramène à la moyenne d'un mètre.

Relations et groupement des filons. — Il est très-rare qu'un filon soit isolé dans une contrée; il existera, par exemple, sinon d'autres filons de même espèce, au moins des filons stériles ou des filons caractérisés par d'autres minerais. Dès qu'il existe plusieurs filons, il y a nécessairement des relations entre eux. Considérés sous le rapport purement graphique, des filons peuvent être *parallèles*; s'ils ne sont pas parallèles, il peut arriver qu'ils forment des *croisements*.

Examinons d'abord les faits qui résultent de la dernière hypothèse, c'est-à-dire de la rencontre de deux filons.

Si nous supposons la rencontre de deux filons, il y aura un filon *croiseur* et un filon *croisé;* de là, une distinction dans l'âge de formation; le filon croiseur sera évidemment plus moderne que le filon croisé.

Un filon croiseur se distingue facilement en ce qu'il n'éprouve dans son allure aucune interruption; le filon croisé, au contraire, présente une solution de continuité résultant de la rencontre même. Supposons en outre, et c'est le cas le plus ordinaire des filons, que le croiseur ait produit une *faille*, c'est-à-dire qu'il y ait eu déplacement relatif des deux parois de la cassure, il en résultera nécessairement un *rejet*, c'est-à-dire que, même après avoir traversé l'épaisseur du croiseur, on ne retrouvera pas le plan du filon croisé dans le prolongement naturel de la partie connue.

Les *rejets* sont, parmi les accidents des filons, ceux qui ont été le plus étudiés, parce que, dans l'exploitation, ils ont plus d'importance que tous les autres. Il est, en effet, peu de filons qui ne soient croisés dans leur parcours soit par des filons postérieurs plus ou moins puissants, soit par de simples fentes

sans épaisseur que l'on appelle *filets*. Il y a dans ce cas deux questions à résoudre : Quel est le sens du rejet ? quel est son parcours, c'est-à-dire quelle est la différence de niveau des deux parties ?

On peut dire qu'il n'existe aucune règle absolue qui permette de répondre à ces deux questions, et pourtant, dans la plupart des pays de mines, l'étude pratique du phénomène conduit à des hypothèses très-probables. Schmidt a posé cette règle, que les rejets avaient toujours lieu comme si le toit du croiseur avait glissé sur son mur.

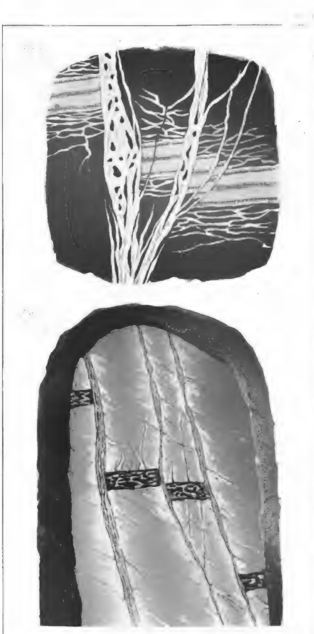
Cette hypothèse a été justifiée par des exemples nombreux ; elle se vérifie très-fréquemment dans les filons du Harz, et pourtant nous y trouvons aussi des exceptions assez multipliées. Ainsi on distingue dans les mines d'Andreasberg des rejets suivant la théorie et des rejets contre la théorie. Dans ces derniers, c'est le toit du croiseur qui a remonté sur son mur.

Ces rejets contre la théorie appartiennent presque tous à des failles postérieures aux filons métallifères ; ce sont les dernières fractures qui ont affecté la région des filons d'Andreasberg ; elles n'ont ordinairement qu'une très-faible épaisseur, et sont complétement stériles. Ce qui rend ces failles très-intéressantes, c'est que leur manisfestation concorde toujours avec l'apparition dans le voisinage de masses éruptives amphiboliques qui ont pénétré les thonschiefer, et se sont insérées dans leur plan de stratification. Ces amphibolites sont donc postérieures à la fois aux filons et aux principales masses trappéennes de la contrée, qui, lorsqu'elles se trouvent sur la marche des filons, ont toujours été traversées par eux.

Dans beaucoup de mines on a trouvé que la théorie de Schmidt concordait avec cet énoncé : que les rejets avaient lieu le plus souvent du côté de l'angle obtus. Mais cet énoncé est encore plus défectueux que le précédent, parce qu'il est sujet à plus d'exceptions.

En réalité, le seul guide certain qui puisse être indiqué, c'est l'étude des faits particuliers du champ de fracture où l'on se

Digitized by Google



Digitized by Google

trouve, et surtout celle de la composition du terrain. Après avoir traversé un croiseur, une galerie pénètre dans les roches encaissantes, et l'étude locale permet alors de déterminer si ces roches encaissantes appartiennent au toit ou au mur du filon exploité.

Les figures 1 et 2 de la planche X, prises par le professeur Weissembach dans les mines de Freiberg, représentent avec exactitude les diverses variations d'allure de filons déjà cités et des exemples intéressants de croisement.

Dans le premier cas (fig. 1), le filon Neuhoffnunger-Flache, déjà représenté planche VIII, est coupé par le Christianer-Stehendegange, dont chaque ramification occasionne une dénivellation différente du filon croisé. Dans le second cas (fig. 2), le Gottlober-Morgengange, déjà représenté planche VII (fig. 2), est divisé en trois ramifications, et chacune de ces divisions rejette aussi le filon croisé dont la direction est à peu près perpendiculaire à la sienne. Des rejets de même nature sont indiqués dans la galerie de Zinnwald, planche VII (fig. 1).

La planche XXVI, qui représente la coupe d'un filon de Tenès en Algérie, indique l'existence de deux rejets; l'un, placé près des affleurements, et recoupé par le premier puits, présente une disposition contre la théorie ; le second, au contraire, lui est conforme.

Ces exemples de croisements de petits filons se reproduisent d'une manière analogue pour les filons puissants ; mais, dans ces cas, il est beaucoup plus difficile de reconnaître les détails du phénomène, car ils ne peuvent plus être mis en évidence par une seule section de galerie.

Il est rare qu'on puisse voir un phénomène de rejet autrement qu'en coupe dans l'intérieur des travaux souterrains. Les plans de surface où ces rejets se trouvent mis en évidence résultent du lever de ces travaux souterrains, et le phénomène est constaté par les opérations graphiques, plutôt qu'il ne se voit. Dans quelques circonstances, cependant, les affleurements peuvent fournir la vue de croisements et de rejets. L'exemple

Digitized by Google

représenté planche XI est l'expression la plus évidente de ce phénomène.

Cet exemple est pris sur l'affleurement d'un des filons d'Obernhof dans le duché de Nassau. Un filon quartzeux, de $0^m,50$ à $0^m,80$ de puissance, contenant de la pyrite cuivreuse, est incliné à 70°; il est coupé par un filet peu épais et peu incliné qui détermine un rejet d'une dizaine de mètres.

Deux filons qui se croisent présentent le plus souvent des différences prononcées dans leur composition en gangues et en minerais. Les filons *parallèles* ont au contraire, sous le rapport de la composition, les relations les plus intimes. Il résulte de ce fait une véritable classification géognostique, car ce sont toujours les filons appartenant à un même type de composition et de direction qui seront croisés par des filons appartenant à un autre type, et qui croiseront eux-mêmes les filons d'un troisième type.

Ces relations que présentent la direction et la composition des filons, furent d'abord observées en Saxe et dans le Harz, où Werner reconnut que les filons de même composition étaient parallèles entre eux, et que les filons de composition différente couraient généralement dans des directions différentes. Ainsi, à Ehrenfriedersdorff, des filons argentifères, dirigés nord-sud, coupent des filons d'étain dirigés est-ouest; chacun de ces systèmes de composition comprend une série de filons dont les directions et les inclinaisons sont parallèles. Dans le Cornwall, on a reconnu neuf systèmes de filons distincts : deux systèmes de filons d'étain, un de porphyre, trois de cuivre, un de quartz et deux d'argile, dont l'ordre géognostique et les directions ont été constatés.

La planche XII représente le plan superficiel des principaux filons du Cornwall, et donne idée de ces croisements de divers systèmes de filons parallèles entre eux. On voit que les filons métallifères courant à peu près est-ouest sont coupés et rejetés par des filons croiseurs courant nord-sud. Dans la mine d'Huel-Peawer (fig. 41), les filons d'étain sont coupés et rejetés par

Digitized by Google

Pl. XI

DISPOSITION GÉNÉRALE

des principaux filons de Cuivre et des Filons croiseurs (Cross courses) des Mines dites Consolidated et United Mines (Cornouailles)

Ruisseau
Wheal Maude
Route de St Day
Redruth
Galerie d'écoulement
Old Lode
Chemin de fer
Grande Galerie d'écoulement
Filon Croiseur (Cross Course)
Filon de Peeble
Filon de Wheal Fortune
Filon Garamiel
Great Lode ou Grand Filon
Grand Filon
South Ale et Cake Lode
Great Lode
South Lode
Flat Lode
Filon Croiseur
Filon de Tollingame
Filon Manche
Route à Ferran Wary
N

les filons de cuivre; et ces deux systèmes sont encore coupés et rejetés par les filons argileux croiseurs (cross-courses), qui sont les plus modernes.

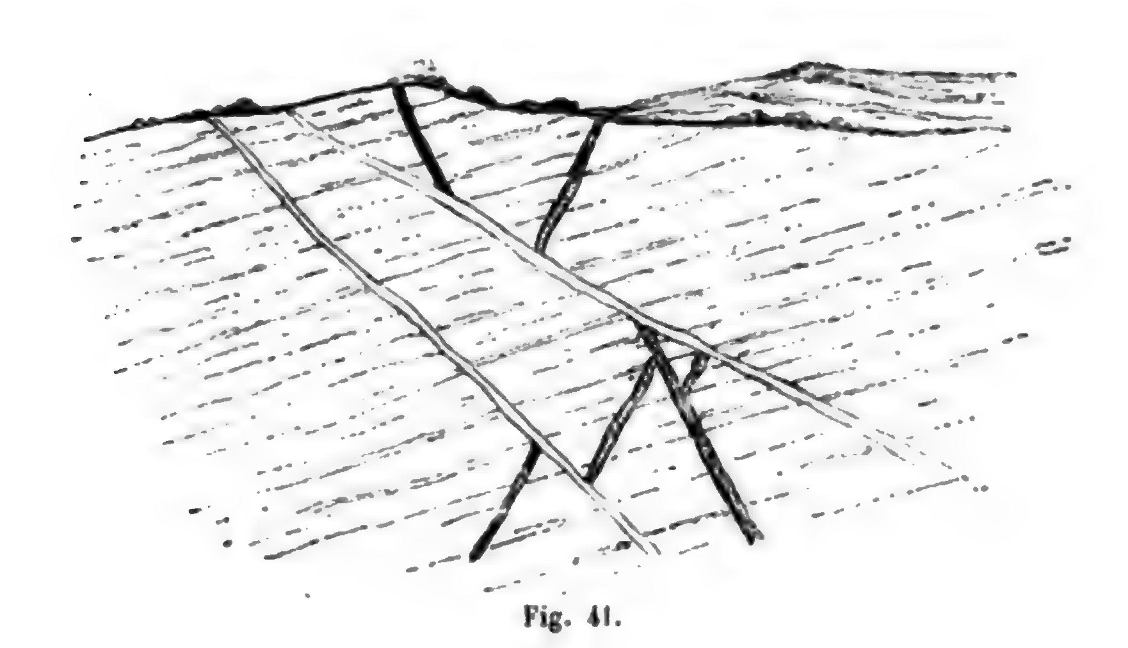


Fig. 41.

En résumé, les faits qui ressortent de l'examen des districts de filons sont : que les filons formés à une même époque ont généralement une composition identique et sont parallèles; c'est-à-dire que, le sol ayant été d'abord fracturé dans une direction déterminée, ces fentes ont été remplies, qu'il s'en est formé d'autres dans une nouvelle direction qui ont été comblées par d'autres substances, lesquelles ont été suivies de nouvelles fentes appartenant à un autre système, et ainsi de suite. Ces phénomènes ont été signalés par Werner, qui posait ainsi la première base de la théorie des révolutions du globe de M. Elie de Beaumont; théorie qui a mis en évidence le principe de parallélisme des accidents du globe terrestre.

Les filons, ainsi liés entre eux par des relations de direction, doivent en effet présenter des rapports du même ordre avec les grands accidents du sol dont ils ne sont en quelque sorte que les détails. M. Elie de Beaumont a fait ressortir, dans plusieurs contrées, ces rapports, qui ne sont nulle part plus saillants

que dans les Iles Britanniques. La chaîne Pennine présente le parallélisme des crêtes montagneuses, des failles, des dykes et des filons sur une étendue considérable. Les Vosges, les chaînes de l'Auvergne, les districts métallifères des Alpes, de la Saxe, de la Bohême, etc., confirment ces relations de parallélisme entre les fréquents accidents de la surface du globe et les divers systèmes de cassures qui en furent la conséquence. Il ne faut pas cependant trop généraliser ce principe. Par cela même que les filons ne sont que des faits de détail, leurs directions sont souvent complexes, mais il suffit de pouvoir établir les rapports de leur allure avec la configuration extérieure du sol, et surtout avec la nature des terrains traversés, pour déduire de ces principes une multitude de faits qui sont de la plus grande utilité pratique.

Dans les divers districts métallifères où les filons se trouvent rassemblés, ces filons ne sont pas en effet dispersés au hasard ; ils sont groupés dans certains espaces circonscrits que nous avons appelés *champs de fracture*. Ces champs de fracture sont généralement limités, soit par des roches d'une nature différente de celles qui constituent le sol, soit par les lignes des accidents de la surface.

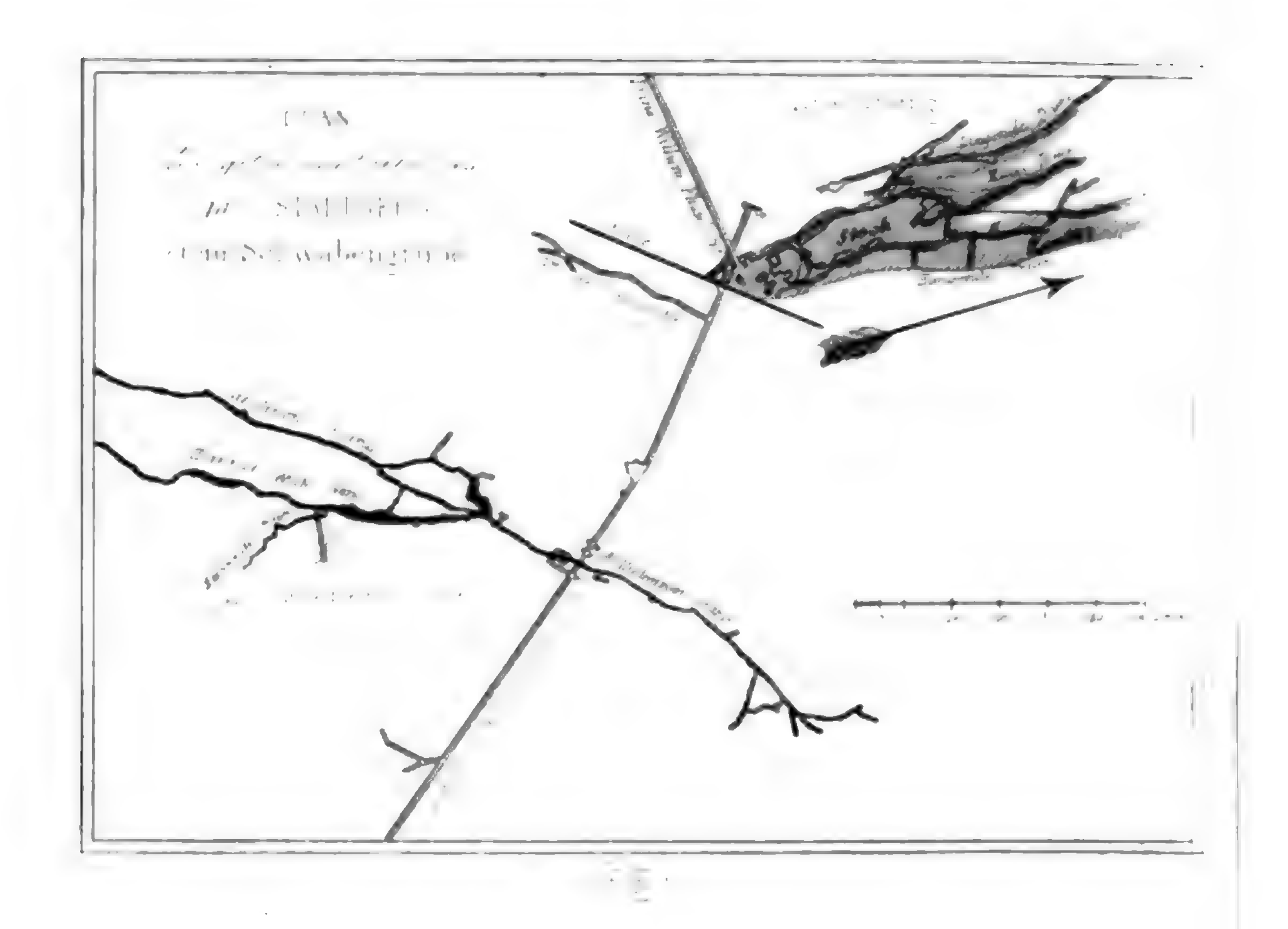
Le champ de fracture qui renferme les filons d'Andreasberg, au Harz, est l'exemple le plus intéressant qu'on puisse choisir. Le sol fracturé est formé d'alternances de schistes argileux, et de quelques couches de kieselschiefer. En outre, on y trouve intercalés de gros filons concordants, uniquement remplis de débris schisteux, et qui sont désignés sous la dénomination de ruschels; enfin, le sol est accidenté par des roches dioritiques.

Si l'on jette les yeux sur la carte de ce champ de fracture (planche XIII), qui représente une coupe horizontale de tout le terrain à la profondeur de 100 lachters (200 mètres), on voit que les filons appartiennent à plusieurs époques. Les plus puissants, qui portent le nom de *ruschels* et sont concordants avec les schistes argileux, forment les limites du champ de fracture

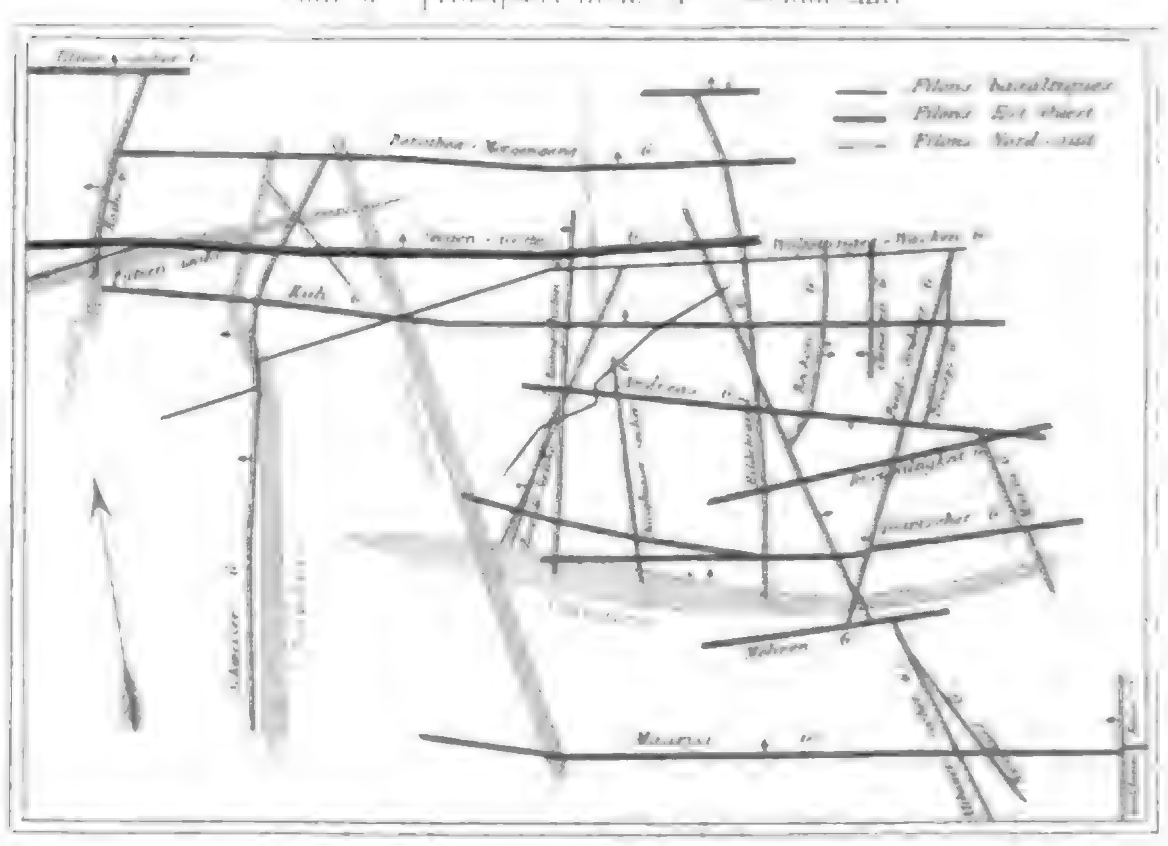
Digitized by Google

Thonschiefer

Buschel



Plan des principaux filons de Joachimsthal



sillonné par les filons métallifères. Les deux ruschels extrêmes n'ont pas d'ailleurs une position arbitraire ; celle du nord, Neufanger-Ruschel, se trouve précisément à la séparation des grauwackes et des schistes argileux ; celle du sud, Edellenter-Ruschel, marque, sur la plus grande partie de son parcours, la séparation des schistes argileux et des roches amphiboliques (grunsteins et diorites) qui les ont soulevés. Le champ de fracture est ainsi limité par les clivages principaux du sol, au delà desquels le terrain change de nature.

Les filons métallifères appartiennent eux-mêmes à deux époques distinctes, bien qu'ils ne présentent pas de différences appréciables dans leur remplissage. Ainsi le Samson, principal filon du district, coupe et rejette le Gnade-gottes et le Bergman-Trotter. En étudiant cette carte intéressante, due aux recherches assidues des ingénieurs du Harz, on voit comment les ruschels ont souvent fait dévier les filons ; on voit, en outre, que les diorites, dont les masses principales sont antérieures aux filons, constituent cependant des masses intérieures qui sont traversées par eux, notamment à Andreaskreutzer. Ces diorites ont donc été produites par des éruptions successives ; les filons et leur remplissage métallifère constituent, en quelque façon, un épisode particulier de cette période d'éruptions.

Le champ de fracture des environs d'Andreasberg présente, comme on le voit, une succession de fractures qui diffèrent entre elles par les conditions de leur formation, et en partie par leur remplissage. Il y a des districts de filons qui ont un historique beaucoup plus compliqué ; les filons des environs de Joachimstall, par exemple, qui forment un groupe intéressant dont la petite carte (planche XIV, fig. 2), due aux recherches de M. Maier, exprime les principaux traits.

Ces filons sont concentrés dans un champ de fracture voisin d'une masse de granites et de porphyres qui domine le terrain schisteux ; ils se rapportent à deux directions très-distinctes, l'une nord-sud et l'autre est-ouest.

Les filons principaux de la direction nord-sud sont : Rothe-

gang, Schweizer-gang, Rose-Jericho, Evangelisten-gang, Hildebrand, etc.; ceux de la direction est-ouest sont : Dorotheamorgen-gang, Seegen-gottes, Kühgang, Andreas Jeirischer et Maurizi-gang.

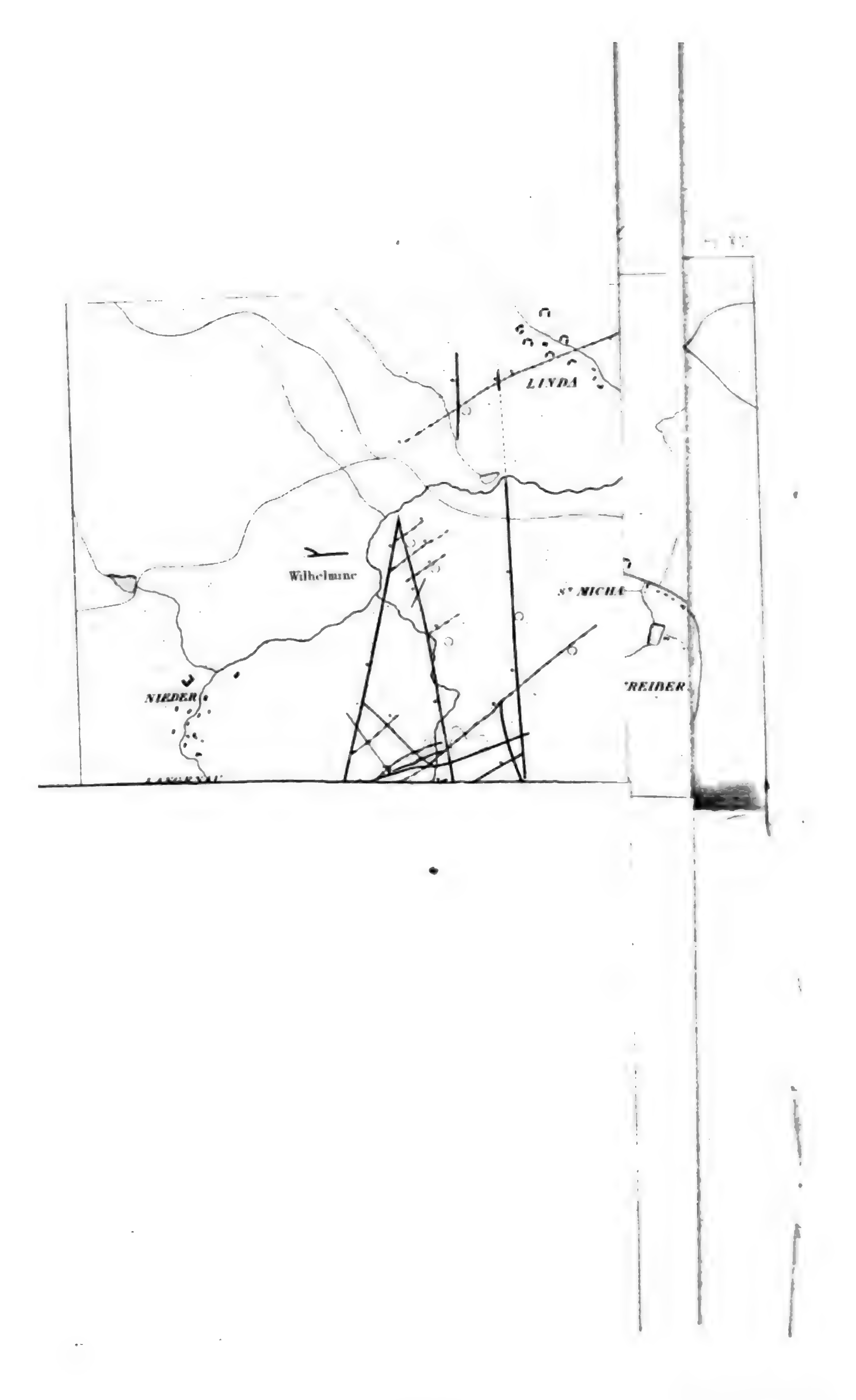
Le parallélisme des filons appartenant aux deux directions est assez exactement suivi ; mais ces directions n'expriment pas réellement leur âge relatif, ainsi qu'on peut le voir par les divers cas d'intersection. Les filons est-ouest sont assez généralement les plus modernes, et cependant on peut admettre deux époques des filons nord-sud, l'une coupée et rejetée par les filons est-ouest, l'autre, au contraire, qui les coupe et les rejette.

Ces deux directions sont d'ailleurs accompagnées de dykes éruptifs, appartenant à des roches très-distinctes. Ainsi plusieurs filons nord-sud, tels que le Rothegang et le Schweizer, sont accompagnés de dykes porphyriques quartzifères, qui suivent la même direction et se conforment même à certaines inflexions caractéristiques de leur allure. Ces dykes et les filons métallifères ont en outre la même inclinaison. Les filons est-ouest sont accompagnés de dykes basaltiques qui ont avec eux des relations analogues, et l'un d'eux, le Seegen-gottes, est un filon double, à la fois basaltique et métallifère.

M. Maier cite le Rothegang comme le filon qui présente la liaison la plus intime avec les porphyres. On voit, en effet, d'après la carte qu'il en a donnée, que ce filon est accompagné par un dyke porphyrique qui court à peu près parallèlement, s'en éloigne quelquefois, et d'autres fois s'en rapproche au point de former une de ses épontes. Dans les parties les plus éloignées du porphyre, le filon est bien détaché ; il n'a pas d'autre gangue que l'argile et pas d'autre minerai que le pechblende. Au contact du porphyre, cette gangue se pénètre de quartz, passe au jaspe, le filon devient adhérent, et l'on rencontre alors les divers minerais d'argent, qui sont le principal objet des recherches à Joachimstall, avec les minerais de nickel, cobalt et de bismuth, qui caractérisent toute cette partie de l'Erzgebirge. Ces relations, reproduites par plusieurs autres filons qui suivent la

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

même direction, ont amené à conclure que ces filons et les dykes porphyriques devaient être à peu près contemporains.

Les filons est-ouest ont avec les basaltes des relations de remplissage qui semblent aussi démontrer une certaine dépendance; mais ici les rapports qui résultent de l'allure et du groupement des filons avec les dykes basaltiques sont encore plus significatifs.

Ces rapports sont établis par l'allure et la composition de quelques-uns des filons les plus modernes. Le Seegen-gottes, par exemple, est en partie rempli par un filon basaltique qui suit la même marche. A la rencontre du filon Hildebrand, le basalte divisé en deux branches a été traversé, mais ce filon Hildebrand est coupé et même rejeté par le Seegen-gottes; donc le Seegen-gottes est postérieur à l'Hildebrand, postérieur lui-même au basalte. L'ensemble de ce double filon du Seegen-gottes est de même coupé et rejeté par le filon Saint-Jean-l'Évangéliste. Donc, si dans ce champ de fracture, il y a des filons antérieurs aux basaltes, il y en a aussi qui leur sont postérieurs et suivent cependant la même direction.

Celui qui, de tous les champs de fracture sillonnés par des filons de diverses époques et de divers caractères, présente les faits les plus nombreux et les plus classiques est le district de Freiberg. La carte (planche XV), réduite d'après celle de M. de Beust, exprime les conditions du gisement et de l'allure de ces filons. On voit que Freiberg occupe à peu près le centre de ce vaste groupe de filons, qui s'étend à 8 kilomètres au nord, 11 au midi, 3 au nord-ouest, et 4 au sud-est, comprenant ainsi une surface métallifère de 125 kilomètres carrés. Plus de 900 filons ont été reconnus sur cette étendue.

Il suffit d'un examen rapide de cette carte pour y reconnaître le phénomène du groupement des filons en plusieurs catégories caractérisées par des directions parallèles. Ces catégories principales sont au nombre de trois :

1° Les filons principaux *Stehende*, dirigés sur 3 *heures* de la boussole, et développés principalement vers l'ouest du district;

Digitized by Google

d'après l'opinion de M. de Beust, ces filons se prolongent probablement dans les collines de Halsbach, Conradsdorf, Falkenberg, Naundorf, etc., où ils présenteraient un champ vaste et encore peu exploré ;

2° Les filons *Flache*, qui se rattachent à la direction de 12 *heures*, forment deux faisceaux principaux ou *zug* qui coupent les filons Stehende; un de ces faisceaux court de Drei-Kreutzen à Striegis, l'autre est plus au nord, entre Freiberg et la vallée de la Mulde ;

3° Une troisième direction principale comprend les filons *Spat* dirigés sur 9 *heures*, qui sont représentés presque dans toute l'étendue des filons de 3 *heures*, depuis Langenau jusqu'à Falkenberg, mais principalement accumulés vers Halsbrück, où se trouve le Halsbrückner-Spat, le filon le plus puissant de toute la contrée; cette direction coupe généralement les deux précédentes;

4° Enfin, quelques filons se rapportent à une quatrième direction, *Morgen*, qui marche vers 6 *heures*.

En réalité, les deux directions de 3 *heures* et de 9 *heures* comprennent tous les filons les plus importants et les plus riches de la contrée. Les mines les plus productives se trouvent dans les filons de 3 *heures*, notamment dans le quartier d'Himmelfahrt, Abraham Seegen-gottes et Herzog Auguste, etc... Comparativement aux filons du Harz, les filons des environs de Freiberg présentent, comme particularité importante, l'existence de plusieurs formations bien distinctes et d'époques différentes.

Si l'on compare, en effet, sous le rapport de la composition l'ensemble des filons qui se rapportent aux quatre directions citées, on reconnaîtra que ces directions sont généralement caractérisées par des différences notables. Ainsi la direction de 3 *heures* présente, avec des gangues exclusivement quartzeuses, des galènes pauvres, cristallisées ou à larges facettes; dans la direction de 12 *heures*, les minerais sont plus riches en argent, le quartz est mélangé de spath calcaire et de sulfate de baryte;

Digitized by Google

enfin, les filons de 9 *heures*, surtout du côté de Halsbrück, sont caractérisés par l'abondance du sulfate de baryte et par la présence du falherz qui se mêle à la galène.

Cependant la distinction de l'âge des filons d'après leur direction n'a rien d'absolu dans les détails; elle est même sujette à des exceptions tellement nettes et répétées, que les géologues de Freiberg ont préféré distinguer les filons d'après leur composition; ces caractères offrant, à leur avis, des éléments plus certains de classification.

Herder a classé ces mêmes filons suivant les groupements des minerais et des gangues, et fait cinq divisions qui, à partir des plus anciennes, sont :

1° *Kiesige bleiformation*, galène contenant de $\frac{1}{2}$ à 6 loths d'argent, blende, arséniate de fer, pyrite de fer, pyrite cuivreuse, cuivre gris, argent antimonié sulfuré rare; gangues quartzeuses. Ces filons, au nombre de 287, appartiennent aux directions *Stehende* et *Morgen*.

2° *Edle bleiformation*, galène contenant 6 loths et plus, blende, pyrite de fer contenant de 1 à 3 loths, argent rouge, argent natif, antimoine sulfuré, fer olygiste, manganèse carbonaté; gangues quartzeuses, avec chaux carbonatée et sulfate de baryte. Ces filons, au nombre de 330, appartiennent aux directions *Flache*, *Stehende* et *Morgen*.

3° *Edle quarz formation*. Argent rouge, arséniate de fer, mispickel argentifère, argent natif, galène très-argentifère, manganèse carbonaté, gangues de quartz, chaux carbonatée, chaux fluatée. 119 filons des diverses directions appartiennent à cette classe.

4° *Barytische bleiformation*, galène pauvre; plomb phosphaté, pyrite de fer, blende brune, cuivre gris, pyrite cuivreuse, argent rouge, arsenic natif, réalgar, cobalt gris, fer olygiste. Gangues de baryte sulfatée et de spath fluor. Cette classe comprend 134 filons, qui se rapportent presque tous à la direction *Spat*.

5° *Kupfer formation*, comprenant des filons à gangues de

Digitized by Google

quartz souvent améthisé, avec cuivre pyriteux, pyrite de fer, cuivre carbonaté, etc.

On voit que cette classification d'Herder est établie sur des distinctions très-subtiles, puisque les quatre premières classes ne diffèrent guère que par les gangues, le titre en argent et par l'ordre suivant lequel les minerais sont énumérés, ordre qui est celui de leur importance dans les filons. La cinquième division est tout à fait arbitraire, et ne comprend en réalité que des filons qui font partie des catégories précédentes.

M. de Weissembach, mieux éclairé par le développement des travaux, a établi les quatre classes des filons en appuyant les distinctions sur les gangues plus que sur les minerais. Ces quatre classes, dont on trouvera facilement les rapports avec les catégories précédemment établies soit par les directions, soit par les divisions minéralogiques d'Herder, sont :

1° Filons quartzeux, avec pyrite de fer, blende, galène, mispickel : contenance d'argent, médiocre.

2° Filons de Braunspath (chaux carbonatée ferrifère) avec les mêmes minerais que précédemment, mais avec un titre d'argent plus élevé.

3° Filons avec fer oxydé, fer carbonaté, spath fluor, sulfate de baryte; généralement moins métallifères que les deux classes précédentes. Ces filons traversent quelquefois le Zechstein.

4° Filons à gangues calcaires, contenant quelquefois des minerais assez riches; ils se sont trouvés accidentellement dans les terrains jurassiques.

Ces classifications d'après la *composition* prouvent que les idées de Werner, qui avaient eu pour point de départ précisément les filons de Saxe, sont loin de pouvoir être considérées comme absolues, et qu'elles doivent être appliquées non comme des règles pratiques, mais seulement comme des probabilités. Ramenées à cette valeur, les lois qui régissent l'histoire des filons sont d'ailleurs dans les conditions de toutes les lois géologiques, et surtout de celles qui s'appliquent aux terrains ignés, avec lesquels les gites métallifères sont en connexion constante.

Digitized by Google

Le seul fait de 900 filons existant dans un même district, rapportés à quatre directions constantes, et soumis à des lois de composition qui indiquent leur âge, est déjà bien remarquable. Il est encore hors de doute qu'il y a un ordre de succession parmi ces quatre directions; mais, dans un terrain tourmenté par tant de causes de fracture, il s'est produit nécessairement ce que nous avons précédemment signalé à Andreasberg : le terrain, sollicité à se fracturer suivant une direction déterminée, s'est en même temps fendu suivant des directions croisées, les conditions locales de résistance ayant modifié les tendances incontestables des efforts souterrains dont l'effet s'est borné dès lors à faire dominer une direction.

De la distribution et de l'origine des minerais dans les filons. — D'après ce que nous venons de dire sur la composition des filons, leur allure, leurs relations et leur groupement, on voit que les divers minerais se trouvent classés dans des filons distincts. Ainsi il y a des filons dans lesquels domine l'oxyde d'étain: d'autres sont caractérisés par les divers minerais cuprifères; d'autres par la galène et la blende; d'autres par le sulfure d'antimoine; d'autres par les minerais d'argent, etc. Ces divers filons se sont succédé dans un certain ordre, et, bien que, sous ce rapport, les faits ne soient pas les mêmes dans les divers districts, il en est quelques-uns qui paraissent constants : telle est, par exemple, l'ancienneté des filons d'étain comparativement à tous les autres.

Les divers minerais qui forment, dans les filons, la partie la plus caractéristique et la plus précieuse, n'y sont pas disséminés d'une manière constante et uniforme. Il y a des parties riches, d'autres pauvres, d'autres tout à fait stériles.

On peut considérer la composition des filons suivant des coupes verticales, ou bien suivant des coupes horizontales; en d'autres termes, suivant leur *inclinaison* ou leur *direction*. Dans le premier cas, il y a une constance assez remarquable dans les gangues et les minerais, ainsi que dans la structure: tandis que, dans le second, les caractères ne se maintiennent que pendant

des intervalles variables en longueur, mais généralement peu soutenus. Ici les exemples abondent, et c'est pour cela que les exploitations sont en général très-nettement limitées en direction, tandis qu'elles s'étendent toujours en profondeur.

Les concentrations métallifères ont, dans les filons du Harz, une position bien caractérisée. Dans les filons de Clausthal (planche XVI), tant que les filons sont simples dans leur allure, les roches du toit et du mur dominent dans le remplissage, et il y a peu de chance d'enrichissement; mais, lorsque les filons se divisent de manière à embrasser une grande épaisseur de terrain dans leurs ramifications complexes, les matières métallifères prennent plus d'importance. Que l'on jette les yeux sur la carte de ces filons, et les parties ramifiées de Burgstadter et du Rosenhofer zug frapperont immédiatement par la multiplicité de leurs réseaux. Or ces portions ramifiées, où il y a accroissement de puissance totale et dissémination des filons, sont, en même temps, les plus remarquables par la richesse en galène argentifère.

Un fait analogue se reproduit dans les filons d'Andreasberg qui sont très-sujets à se ramifier latéralement; ces points divisés et contournés dans leur allure sont en même temps les plus riches. Dans la ramification du Samson (représentée fig. 39), et qui avait 14 ou 15 mètres en direction, et 15 ou 16 dans le sens de l'inclinaison, on a trouvé une veine d'argent rouge dont l'abatage a donné un produit de 300 000 francs.

L'étude générale des filons du Harz a donc permis de poser ce principe : que toutes les dispositions de fractures qui ont facilité le remplissage par l'écroulement des épontes sont contraires au développement des minerais, et que, réciproquement, ce développement a été favorisé par toutes les circonstances qui pouvaient maintenir pendant longtemps les vides intérieurs des fractures.

Le filon de Veta-Grande, près Zacatecas, au Mexique, fournit un exemple frappant de la concentration fréquente des minerais les plus riches sur les points de la puissance maximum. Ce filon

Digitized by Google

est exploité par 21 mines sur 2760 mètres de longueur, et sur une profondeur de 3 à 400 mètres; l'exploitation a été surtout fructueuse dans les mines de Gallega et de Cerro-di-Milanese, où le filon atteint une puissance de 8 à 12 mètres, soit par un simple renflement, soit par une bifurcation en quatre branches; elle a été arrêtée, au contraire, en direction comme en profondeur, par des rétrécissements soutenus qui réduisaient la puissance à $0^{m},90$ à $1^{m},20$, dimensions auxquelles l'abatage cessait de donner des bénéfices.

Le célèbre filon de la Veta-Madre, exploité sur une longueur de 12 000 mètres en direction, n'a présenté une richesse remarquable que sur environ 2600 mètres. Sur beaucoup de points, on a observé des changements de minerais : ainsi la pyrite cuivreuse était remplacée par de la blende et de la galène, de telle sorte que le filon semblait composé de zones verticales accolées et de composition différente. Ces transformations suivant la direction résultent naturellement du mode de formation des filons; quant aux transformations dans le sens de l'inclinaison, elles semblent devoir être attribuées à des causes différentes.

En effet, dans un grand nombre de filons on a remarqué une différence complète entre les caractères minéralogiques des parties supérieures et ceux des parties situées à une profondeur considérable. Ainsi les filons de Sainte-Marie-aux-Mines furent célèbres lors de l'exploitation des parties situées au-dessus des vallées principales; on y trouvait de l'argent natif en masses souvent considérables; le minerai était également plus argentifère et plus facile à abattre qu'il ne l'a été ensuite lorsque les travaux devinrent plus profonds. Les variations de ce genre ont été attribuées à la faculté condensatrice que devaient posséder au plus haut degré les parties supérieures d'une cassure, comparativement aux parties profondes; les émanations métallifères devaient s'y fixer de préférence, de même que dans les portions renflées ou bifurquées, parce que la vitesse de leur courant était ralentie et la température diminuée; mais ces variations de richesse suivant l'inclinaison peuvent encore résulter d'un autre ordre de

faits. Ainsi, dans la plupart des filons de l'Amérique méridionale, les minerais d'argent sont disséminés vers les parties voisines des affleurements dans des terres ocreuses, peu résistantes, présentant tous les caractères des filons décomposés, dits filons pourris; les minerais y sont à l'état natif, à l'état de chlorure et de sulfure. Ces minerais, avantageux à exploiter malgré leur faible teneur, parce qu'ils sont faciles à abattre, ont reçu les noms de *colorados* au Mexique, et de *pacos* au Pérou; le minerai y est à peine perceptible à l'œil, mais facile à recueillir par l'amalgamation. En profondeur, on ne trouve plus, dans plusieurs de ces mines, que des pyrites de fer disséminées dans des gangues dures et résistantes; ces minerais (*los negros*), à la fois plus coûteux à abattre et à traiter, sont rarement extraits avec bénéfice.

Si l'on étudie la répartition des minerais suivant les diverses sections des filons, on voit qu'ils sont disposés en veines, en veinules, en petits amas, en rognons, en grains, en paillettes et en cristaux ; ces diverses formes sont d'ailleurs subordonnées au rubanement par zones doubles et symétriques, pour les filons où cette disposition est visible. Ainsi tantôt le minerai formera des veines continues suivant le plan du filon, soit presque pur ou isolé par des salbandes particulières et distinctes ; tantôt il sera tout à fait disséminé dans les gangues. Les cristaux se trouvent surtout dans les parties cariées et caverneuses de la roche ; ils présentent presque toujours des formes cristallines particulières dans un même filon ; de telle sorte que, dans les collections, on peut souvent reconnaître la provenance de beaucoup d'échantillons. On peut dire d'ailleurs que, sous toutes ces formes, la présence du minerai tend à constituer des zones distinctes, soit qu'il existe seulement vers les salbandes, soit qu'il se trouve rassemblé dans l'axe du filon et forme en quelque sorte un filon dans un autre.

La distribution des minerais dans les filons mérite d'autant plus d'être étudiée que, lorsqu'on parle d'un filon de galène, de cuivre gris, d'un mètre de puissance, on s'imagine généralement

que la galène ou le cuivre gris ont réellement un mètre d'épaisseur. Il n'en est rien cependant, car les minerais jouent toujours un rôle très-secondaire dans les filons.

Que l'on se reporte à la figure 35 (page 300) qui représente une coupe sur une hauteur de plus de 30 mètres du filon d'Aumale en Algérie, et l'on reconnaîtra que le cuivre gris (teinté en noir) n'y est réellement que disséminé en très-faible quantité, comparativement à la baryte sulfatée ou au fer spathique. Dans la figure 39 (page 309) qui représente la disposition d'un des plus riches chantiers du Samson, dans le district d'Andreasberg, l'argent rouge ne forme, au centre, qu'un filet de 12 à 16 centimètres d'épaisseur ; encore l'arsenic y est-il en quantité dominante, tandis que la chaux carbonatée et les roches du toit et du mur, mélangées de particules métallifères, constituent les parties latérales du filon.

Quelquefois, on rencontre dans les filons de belles accumulations métallifères, de deux, trois mètres d'épaisseur ; mais alors la continuité est en raison inverse de la puissance, et ces renflements sont des anomalies que les filons réguliers présentent rarement. Dans un rubanement prononcé, une continuité en direction de vingt à trente mètres, comme celle des rubans métallifères d'Holzappel, est déjà une particularité remarquable.

Dans les nombreux filons, remplis en partie par les débris du toit et du mur ou par des roches étrangères, le minerai forme le plus souvent le ciment qui réunit ces parties hétérogènes, ainsi que nous l'avons signalé pour quelques filons du Harz. Les filons puissants, tels que ceux de la Croix-aux-Mines, etc., sont ordinairement dans cette catégorie.

Souvent, les roches encaissantes semblent avoir exercé sur la composition des filons une influence notable. Cette influence paraît se rattacher à deux ordres de faits différents : les premiers purement mécaniques, les seconds chimiques.

Dans le premier cas se trouvent les exemples classiques des filons de galène du Derbyshire, traversant à la fois les calcaires métallifères, les grès et les roches trappéennes qui se sont

Digitized by Google

intercalées entre les couches de manière à présenter des alternances répétées ; les filons, larges et riches dans le calcaire, sont rétrécis, pauvres et souvent étranglés dans les grès et les trapps. A Andreasberg, on a souvent remarqué que les filons étaient plus riches et plus puissants dans les schistes que dans les kieselschiefer. Ces exemples, qu'on pourrait multiplier, résultent évidemment des dimensions relatives de la cassure dans les diverses roches traversées ; l'augmentation de richesse ou sa diminution ne sont que la conséquence des renflements ou des étranglements des filons. Cette différence relative des cassures s'explique par la différence d'élasticité des couches fracturées ; mais le fait n'en conserve pas moins tout son intérêt, et, dans toute contrée de composition très-variable, il pourra guider les travaux de recherches et d'exploitation et faire découvrir *à priori* les parties où les filons auront le plus de chance d'être riches et puissants.

Il est des variations qui semblent attester réellement une influence directe de la roche encaissante sur la richesse du filon. Par exemple, à Kongsberg, en Norvége, des filons minces, à gangue de spath calcaire, courent dans un terrain de gneiss et de schiste micacé amphibolique ; quelques-unes des couches schisteuses sont pénétrées de cuivre pyriteux, pyrite, galène et blende ; on les nomme *falband*. C'est seulement lorsqu'ils traversent ces falband, que les filons contiennent l'argent natif et sulfuré, cristallisé ou filiforme, accompagnés de pyrites et de cuivre pyriteux ; cette loi de groupement a été constatée jusqu'à 600 mètres de profondeur.

Certains filons de Saxe et de Bohême, traversant des couches de schistes et des masses de porphyres, s'enrichissent dans ces dernières roches, tandis qu'ils deviennent stériles dans le schiste, sans qu'il y ait pourtant variation de puissance. D'ordinaire, on observe diverses circonstances, telles que l'adhérence du filon à la roche qui l'enrichit, la facilité de cette roche à se pénétrer elle-même des substances métalliques, qui porteraient à croire qu'il y a eu une affinité réelle entre elle et les émanations mé-

Digitized by Google

tallifères. Quelques filons de Joachimstal (planche XIV, fig. 2) semblent démontrer cette affinité.

Les filons du district de Freiberg sont beaucoup moins ramifiés que ceux du Harz. Leurs directions sont plus franches et leur allure plus régulière ; aussi n'a-t-on pas eu occasion de constater des concentrations de minerais dans les parties ramifiées et dilatées, comme dans les filons de Clausthal. La distribution des minerais n'est pas pour cela plus régulière : ainsi les mines signalées il y a trente ans par M. Héron de Villefosse comme les plus productives ne sont plus aujourd'hui dans les mêmes conditions ; l'exploitation s'est principalement soutenue par les produits de la mine Himmelfahrt, qui était alors de peu d'importance. Les filons de Freiberg offrent en effet des exemples de grandes variations dans leur composition. Dans ces plans métallifères qui se prolongent si loin, les gangues dominent et souvent contiennent à peine quelques traces des métaux recherchés ; l'exploitation marche donc au hasard plus que partout ailleurs, sans qu'on ait pu fixer jusqu'à présent aucune règle ni trouver aucun moyen qui puisse servir de guide.

Les concentrations des minerais telles que celles qui sont actuellement connues à Himmelfahrt paraissent cependant affectionner une position spéciale, celle des *croisements* de filons d'un âge différent.

Cette concentration caractéristique des minerais dans les croisements ne peut être attribuée à un surcroît de puissance, car les deux filons ne sont pas contemporains ; on voit nettement un filon croiseur et un filon croisé ; par conséquent, il y avait continuité du sol traversé lorsque la concentration de minerais s'est effectuée. L'enrichissement a lieu, dans les mines d'Himmelfahrt, notamment aux croisements que subissent le Gottlober-Morgengange et l'Abraham, par des directions presque perpendiculaires. Les minerais se trouvent concentrés principalement suivant l'axe de ces croisements et appartiennent aux croiseurs. Il est donc probable que la concentration a été ici le résultat de l'influence de la roche encaissante, et que les pro-

Digitized by Google

priétés des gangues métallifères déjà existantes l'ont déterminée, de même que les falband de Kongsberg ont déterminé la concentration des minerais dans les seules parties des filons qui les traversent.

L'enrichissement des filons dans les croisements est aujourd'hui un fait constaté dans le district de Freiberg ; il existe non-seulement pour des filons considérés isolement, mais encore pour des faisceaux de filons ; les parties les plus métallifères de la contrée étant celles où se croisent les *zugs* de direction différente.

On voit, d'après ces exemples, qu'il existe dans chaque district métallifère des faits généraux qui guident dans la recherche des parties riches des filons. A ces faits généraux, basés sur les conditions de l'allure des filons et sur la nature des roches encaissantes, on peut en ajouter beaucoup d'autres basés sur la variation des gangues et sur les relations qui existent entre certaines d'entre elles et les minerais.

Dans presque tous les districts de filons, il y a affinité de telles gangues pour tel minerai et répulsion de telles autres. Il en résulte que les gangues, telles que le quartz cristallin ou calcédonieux, la baryte sultatée, le spath fluor, seront, dans certains cas, de précieux indices pour la recherche des minerais. D'autres fois, ce sera un autre minerai qui servira de gangue à un autre plus précieux : un fer oxydé ou carbonaté accompagnera des minerais de cuivre. Ces affinités ou ces répulsions ne sont régies par aucune règle absolue ; tous les faits sont locaux, et nous nous bornerons à en citer un exemple.

Que l'on examine la carte des filons de Clausthal, planche XVI. Dans tous les filons qui sont situés vers le nord, et à mesure qu'on s'éloigne dans cette direction, l'importance des gangues spathiques diminue et celle des gangues quartzeuses augmente ; le sulfate de baryte devient rare ; parmi les minerais, la galène se présente moins argentifère, et la proportion de blende mélangée augmente. Vers le sud, c'est au contraire la baryte sulfatée qui, parmi les gangues, prend plus d'importance ;

Digitized by Google

Schwarzenberg
GRUND
WINDHAUS

le quartz est éliminé, et, quant aux minerais, la blende disparaît tandis que la galène devient plus argentifère.

Le filon central, qui forme, en quelque sorte, l'axe du système de fractures, peut être considéré comme un terme moyen de composition ; les deux extrêmes étant situés, l'un vers Lauthental, où les gangues sont souvent quartzeuses, et où la blende est tellement abondante qu'elle élimine en certains points les galènes appauvries ; l'autre au Silbernaaler, dont certaines parties sont composées presque exclusivement de baryte sulfatée avec galène très-argentifère.

Cette loi de distribution générale des gangues et des minerais est sans doute sujette à beaucoup d'exceptions locales, mais elle est frappante lorsqu'on considère l'ensemble du système. Elle indique d'ailleurs qu'il ne faut pas vouloir assujettir une même période de formation de filons à une grande unité de composition, car des variations ainsi exprimées sur des distances assez rapprochées deviendront beaucoup plus tranchées lorsque les points seront très-distants. Sous ce rapport, une période de génération métallifère ne peut être assimilée à une période d'éruption de roches ignées, dont l'identité est au contraire frappante sur des espaces considérables. C'est qu'aussi nous sommes autorisés à considérer les grandes émissions de roches ignées comme un phénomène unique et presque instantané dans son ensemble, tandis que les filons appartiennent, suivant toute probabilité, à des phénomènes longs et complexes, phénomènes de détail qui ont peut-être séparé les émissions diverses des périodes éruptives, comme les solfatares et les volcans actuels séparent la dernière révolution du globe de celle qui peut lui succéder un jour.

L'*origine* souterraine des filons ressort ainsi de tous les points de vue sous lesquels on peut les considérer; nous pouvons en outre la démontrer par des considérations générales.

Les substances métallifères, comme toute espèce de substance minérale constituant l'écorce du globe, doivent se rapporter nécessairement à un des deux principes générateurs : l'un agissant

du centre à la surface et produisant les roches cristallines; l'autre résultant de l'action superficielle des eaux et produisant des roches stratifiées compactes ou terreuses. Si l'on cherche auquel de ces deux principes peuvent être rapportés les minerais et leurs gangues, on est irrésistiblement conduit, par les analogies minéralogiques, à attribuer les substances des filons au principe igné. La texture ordinairement cristalline des minerais, la structure symétrique des filons, est contraire à toute idée d'action sédimentaire; d'autre part, on ne trouve dans les terrains stratifiés aucune substance métallique, de fer excepté; encore avons-nous vu qu'il devait être attribué à des causes locales et provenait réellement d'influences qui se sont manifestées du centre à la circonférence. Dans les terrains ignés, au contraire, il n'est pas rare de trouver des minerais disséminés ou rassemblés, évidemment contemporains, et faisant partie intégrante des éruptions : le fer titané dans les basaltes, l'or et le platine dans certains porphyres, les substances cuprifères et le fer oxydulé dans des trapps et des serpentices, sont des preuves de la grande analogie du gisement des minerais avec celui des roches ignées. Les volcans brûlants viennent eux-mêmes à l'appui de cette opinion; ils produisent presque tous des sublimations de fer oligiste; le chlorure de cuivre, le réalgar, furent à certaines époques très-abondants dans le cratère du Vésuve.

Si l'on cherche à coordonner cette analogie avec les formes présentées par les gîtes métallifères, on trouve encore des concordances remarquables qui confirment ces premières données. En effet, l'hypothèse de fentes préexistantes est démontrée par le seul examen des filons : ainsi, outre qu'on les voit parcourir les terrains de composition et d'âge différents avec les détails de division conformes à cette hypothèse, séparant nettement les roches dures et compactes, se bifurquant dans les roches schisteuses, se changeant en une multitude de fissures dans les roches fendillées; outre que ces brusques solutions de continuité dans les terrains stratifiés ne sauraient admettre aucune autre explication, on a vu que, dans le cas où divers filons viennent à se

Digitized by Google

croiser, l'étude des lignes de stratification des terrains encaissants et des relations des filons entre eux conduisaient précisément à cette hypothèse de fentes et de failles produites à des époques différentes.

L'origine de ces fentes et failles ne peut être attribuée qu'aux effets dynamiques de l'action expansive intérieure. Cette supposition est confirmée jusqu'à l'évidence par les relations qui existent entre les filons et les accidents du sol déterminés par cette action dynamique. Depuis les temps historiques, les tremblements de terre du nouveau monde ont produit de ces crevasses longitudinales que l'on peut suivre pendant plusieurs milles et dont la largeur va jusqu'à 3 et 4 mètres. Ces failles, souvent remplies par des débris, sont quelquefois très-profondes, et ont nécessité la construction des premiers ponts suspendus en cordes et lianes : ce sont de véritables fentes à filons. Il y a donc eu, dans la plupart des cas, tout à la fois formation de fentes et établissement d'une communication entre ces fentes et l'action intérieure du globe.

Werner regardait les fentes comme postérieures au dépôt des roches, et causées, soit par le retrait de la masse en se desséchant et se consolidant, soit par les soulèvements et les affaissements du sol. Il pensait, en outre, que ces fentes avaient été remplies, de haut en bas, par des dissolutions, de nature variable, qui déposaient sur les parois de ces fentes les principes métalliques, tandis que les causes mécaniques extérieures contribuaient aussi à les remplir. Il expliquait la différence des matières constituantes par cette considération, que, les eaux étant plus tranquilles dans ces fentes profondes qu'à la surface, les dépôts des filons devaient être purs et cristallins, et différents de ceux de la surface. Ces idées, adoptées par l'école de Freiberg, furent admises aussi longtemps que des incertitudes encore plus grandes existèrent sur le mode de formation des terrains. Mais, lorsque l'étude des phénomènes actuels, lorsque les études minéralogiques, permirent d'apprécier avec plus de certitude la composition de l'écorce du globe et son mode de forma-

Digitized by Google

tion, on reconnut qu'une partie des hypothèses de Werner étaient inconciliables avec les faits géognostiques. Comment supposer, en effet, que les eaux aient pu se charger de principes métalliques qui n'existaient pas à la surface? Si ces principes existaient, comment admettre qu'ils se soient uniquement déposés dans les filons, tandis qu'on n'en voit aucune trace dans les couches calcaires quartzeuses ou argileuses qui se déposaient à la même époque et dans les mêmes contrées? M. Daubuisson, élève de Werner et l'un des fondateurs de la science géognostique en France, fut le premier à signaler ces anomalies et à manifester ces doutes. « Lorsque je vois, disait-il, dans une contrée de cent lieues d'étendue, composée uniquement de grès et de grauwackes, des filons de galène et de quartz bien cristallins; lorsque, dans des montagnes d'une étendue aussi grande et composée de gneiss, je trouve une multitude de filons d'argent et de spath, sans qu'il y ait le moindre indice de ces substances dans la masse des montagnes, il m'est bien difficile de concevoir que ces filons soient le produit d'une dissolution qui, couvrant toute la contrée, aurait pénétré dans les fentes et y aurait déposé les matières dont elle était chargée. N'aurait-elle donc déposé ces précipités que dans les fentes? ou bien aurait-elle déposé des masses de gneiss à la surface du sol, et du spath argentifère dans les fentes? On conçoit qu'un précipité fait dans un lieu avec plus de tranquillité puisse donner un produit plus cristallin, mais non qu'il puisse former un corps tout à fait différent : par exemple, du quartz, du feldspath et du mica dans un lieu, du plomb sulfuré et du sulfate de baryte dans un autre. »

En repoussant ainsi l'origine des filons métallifères par voie sédimentaire, on est forcément conduit à admettre qu'ils ont été produits par voie ignée, puisque ces deux modes d'origine sont les seuls pour toutes les roches. On ne peut cependant poser en principe que les filons métallifères soient exclusivement d'origine ignée, car on y trouve souvent, et en très-grande abondance, des fragments du toit et du mur, des agrégats formés par les roches environnantes et dans lesquels l'action des eaux est évi-

Digitized by Google

dente. Souvent aussi les substances métallifères n'apparaissent dans un filon que comme ciment des roches du toit et du mur ou d'autres débris fragmentaires venus d'en haut, de telle sorte, que l'ensemble du filon est une espèce de brèche hétérogène à double origine. Mais les substances métallifères, les gangues à la fois cristallines et caractéristiques, ne peuvent résulter que d'une action dont le siége est placé au-dessous des couches solidifiées de l'écorce terrestre.

Le principe de l'origine souterraine des gangues spéciales et des minerais oxydés, sulfurés et carbonatés, étant démontré, on peut chercher encore, dans les détails de structure et de composition des filons, quelles furent les circonstances de leur formation.

Si, par exemple, on étudie sous un point de vue général le mode de remplissage des filons, on sera porté à les considérer comme éruptifs en ce sens que les minéraux caractéristiques de ce remplissage ont été évidemment produits par des émanations de bas en haut. Mais l'on trouve, en outre, dans la nature du remplissage et dans les phénomènes de structure, la preuve que les filons résultent de phénomènes prolongés et complexes.

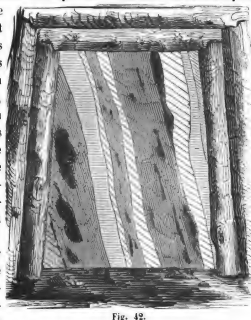


Fig. 42.

Ainsi l'intérieur des filons présente souvent des surfaces striées ou polies, des miroirs qui prouvent qu'il y a eu des mouvements et des écartements suc-

Digitized by Google

cessifs. Le rubanement résulte alors de la succession des remplissages; il y a eu des accroissements latéraux, qui non-seulement ont accolé des matières différentes les unes des autres, mais ont, en quelque sorte, feuilleté le terrain encaissant, ainsi que le prouve la figure 42, prise dans une galerie des mines de Mouzaïa.

Cette coupe de galerie, dans laquelle la baryte sulfatée est représentée par des hachures horizontales, le fer spathique par des hachures parallèles au toit et au mur, le cuivre gris par des teintes noires, et le terrain encaissant par des hachures obliques, montre les feuillets de ce terrain jusque dans l'intérieur du filon; ces lames de schistes ont été évidemment détachées et isolées par les actions successives de l'accroissement du filon. Cette proposition se trouve encore démontrée par la coupe (fig. 43), où le même filon de fer spathique et de baryte avait été incontestablement fracturé lorsque le cuivre gris est venu ajouter une nouvelle zone rubanée au filon, en suivant dans son allure les inflexions déterminées par la fracture.

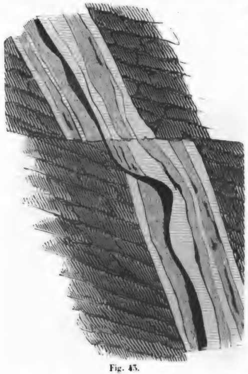


Fig. 43.

Si l'on se reporte actuellement à la structure générale des éléments qui remplissent les filons et si l'on n'oublie pas que les

Digitized by Google

parties stériles et les parties riches de ces filons forment des zones ou colonnes successives de 10 à 40 mètres de continuité, et que ces diverses parties paraissent conserver leur composition en profondeur, on comprendra toute la réalité de l'assimilation des filons métallifères à des fractures passées à l'état de solfatares. Des phénomènes se sont ainsi frayé des routes diverses dans une direction donnée, ont produit des substances nouvelles et altéré les substances préexistantes par des actions lentes et prolongées; intercalant, par des actions ascensionnelles, des minéraux spéciaux et rubanés aux minéraux déjà dus aux actions précédentes.

Sans entrer dans le détail des phénomènes et des réactions chimiques qui ont pu avoir lieu dans les filons, il est évident que, dans beaucoup de circonstances, les eaux, à l'état liquide ou à l'état de vapeur, ont dû mêler leur action à celle des agents purement ignés. Il y a beaucoup de ces exemples de génération mixte.

L'origine des substances métallifères recevra des développements nouveaux de l'étude des *gîtes irréguliers*, gîtes qui sont liés d'une manière plus intime avec les roches ignées et les phénomènes du métamorphisme.

GITES IRRÉGULIERS; VEINES, FILONS ET AMAS DE CONTACT.

Les *gîtes irréguliers* échappent, en quelque sorte, à toute définition de formes; ils se présentent en *veines* qui ne diffèrent des filons que par l'irrégularité de leur allure, par la disposition confuse et la nature des minéraux constituants; en *amas* de toutes dimensions, couchés ou debout relativement à la stratification du terrain encaissant; en *stocwerks*, c'est-à-dire en veinules, nœuds, ou particules isolées, qui imprègnent des portions de terrains; enfin en portions de *couches* qui ont subi des altérations métamorphiques.

Cette irrégularité serait un obstacle absolu à l'étude, si la

Digitized by Google

position et même l'allure de ces gîtes, tout irrégulière qu'elle est, n'était assujettie à des lois générales. Or ces gîtes sont *essentiellement liés, dans toutes les circonstances de leur gisement et de leur composition, à la nature des roches encaissantes;* les données de la science sont donc encore plus utiles à leur exploration et à leur exploitation que dans le cas des filons.

Les gîtes irréguliers sont dans des conditions précisément inverses de celles qui ont été reconnues pour les filons ; ils ont des formes indéfinies, tandis que les filons suivent, sous ce rapport, des lois très-précises : ils dépendent des roches encaissantes, tandis que les filons traversent presque indifféremment toutes les roches préexistantes, ignées ou stratifiées.

Les minerais qui proviennent de gîtes irréguliers se distinguent, ainsi que leurs gangues, des minéraux qui remplissent les filons, par une texture moins cristalline et souvent même compacte. M. Brongniart a fait depuis longtemps cette observation ; c'est au point, dit-il, que l'on peut présumer avec certitude les conditions du gisement par la seule inspection des minéraux rassemblés dans une collection. Que l'on examine en effet, les collections rassemblées à Clausthal et à Freiberg, et l'on sera frappé de la beauté et de la généralité des cristaux : toutes les substances qui se trouvent dans les filons, minerais et gangues, se présentent communément en géodes et cristaux isolés, parfaitement déterminables ; la texture cristalline est ordinaire, même dans les minerais envoyés aux bocards et aux fonderies ; la texture compacte est une exception.

Dans les gîtes irréguliers, il en est rarement ainsi ; les minéraux du Rammelsberg, par exemple, contrastent d'une manière frappante avec ceux des filons ; et si, dans certains cas, comme à Zinnwald, les gîtes irréguliers sont cristallins, ceux d'Altenberg et surtout ceux de la chaine métallifère de Toscane présentent comme normale la texture compacte, et la texture cristalline comme exceptionnelle. On peut encore appliquer à ces gîtes une seconde remarque faite par M. Brongniart sur ceux

de la Suède, c'est que la plupart des cristaux qui en proviennent sont noyés dans les gangues; tels sont les cristaux d'étain de Zinnwald et de Schlakenwald, empâtés dans les talcs; les cristaux de cobalt, de Tunaberg, les paranthines, wernerites, etc., d'Arendal, empâtés dans le calcaire, les cristaux, d'yénite noyés dans l'amphibole, etc. Pour obtenir ces cristaux il faut les dégager artificiellement de leurs gangues, et ils ont rarement alors la netteté d'angles et d'arêtes des cristaux appartenant aux filons.

Les *filons* et les *gîtes irréguliers* ne sont pas géographiquement séparés d'une manière absolue. Les mêmes districts métallifères présentent ordinairement les deux catégories de gîtes, mais, le plus souvent, l'une des deux prédomine. C'est ainsi que les filons forment le trait le plus essentiel de la richesse métallifère du Harz, de la Saxe, du Cornwall; tandis que les gîtes irréguliers dominent dans les provinces rhénanes, la vallée de la Meuse, la Suède, et surtout dans la chaîne métallifère de la Toscane, qui, pour les gîtes irréguliers, est un type de gisement aussi complet que les districts de l'Allemagne pour les filons.

Les gîtes irréguliers qui se rapprochent le plus des filons sont ceux que l'on appelle *veines* ou *filons de contact*. Le principal caractère de ces gîtes est leur position dans les terrains métamorphiques et dans les zones de contact de ces roches avec les masses ignées qui constituent les centres de soulèvement et d'altération. Placés vers le contact des roches soulevées et soulevantes, les minerais constituent des veines ou filons irréguliers, qui suivent ordinairement les contours des plans de contact et se maintiennent dans les roches métamorphiques à une distance plus ou moins grande des roches soulevantes.

Les principaux gîtes de minerais de fer du Harz et ceux des minerais de cuivre de la Toscane peuvent être considérés comme types des filons de contact.

Les minerais de fer du Harz ont une liaison évidente avec les roches amphiboliques; les principaux gîtes sont alignés de Ler-

Digitized by Google

bach à Butembock et Altenau, c'est-à-dire précisément suivant les plans de contact de ces roches avec les couches relevées du terrain schisteux (voir la carte des environs de Clausthal, planche XVI). Ces gites n'ont pas de formes déterminées, et, quoiqu'on leur ait souvent donné le nom de filons, on n'est pas arrivé à constater ce mode de gisement pour les principaux d'entre eux et qui paraissent devoir être classés parmi les gites irréguliers et de contact.

Les minerais de fer du Harz constituent des veines peu continues, ordinairement dirigées suivant les plans de stratification et de contact du terrain schisteux avec les amphibolites, plans qui coïncident, et que nous pouvons appeler les plans de clivage. La coïncidence de la concentration géographique de ces veines et amas, suivant les plans de clivage et d'éruption, établit déjà d'une manière bien suffisante la liaison des minerais de fer avec les amphiboles; mais l'intimité de cette liaison est mise en évidence par l'étude du gisement. Dans beaucoup de cas, le minerai se trouve dans la masse même des roches amphiboliques, où il forme des amas irréguliers; enfin, il y a passage entre la roche qui se charge de plus en plus d'oxyde de fer et le minerai proprement dit. Au-dessus de Lerbach, dans les masses éruptives remarquées depuis longtemps pour les débris de schiste argileux et de kiesel-schiefer qui s'y trouvent empâtés, l'amphibole contient souvent des veines d'oxyde de fer; et, comme elle a, sur quelques points, une tendance assez prononcée à une structure globulaire, l'amphibole et l'oxyde de fer prennent, en ces points, des structures concentriques et apparaissent ainsi dans les sections du terrain, coordonnées par rapport aux mêmes centres de consolidation.

Ce fait intéressant prouve la contemporanéité des minerais de fer et des roches éruptives amphiboliques, tous les gites qui se trouvent dans les couches de contact devant résulter évidemment des mêmes influences ou d'influences analogues qui auraient suivi immédiatement la sortie des masses ignées. Ce fait établit, en outre, un rapport d'origine bien remarquable entre les mi

Digitized by Google

nerais de fer du Harz et ceux qui se trouvent liés par des circonstances de gisement presque identiques avec les roches trappéennes de l'île d'Elbe et des Maremmes.

Le gisement des minerais de fer, soit dans les amphibolites mêmes, soit à leur contact avec les roches schisteuses et calcaires, a été d'ailleurs signalé depuis longtemps. M. Perdonnet, dans un mémoire qui date de 1837, cite les grunsteins et les blattersteins (roches métamorphiques amygdaloïdes au contact des amphibolites) comme renfermant les principaux gîtes de fer en bancs épais, concordants et placés au contact des deux roches. Il fait remarquer également que les grunsteins sont très-souvent pénétrés de minerais au point de contenir 15 pour 100 et plus de fer; il ajoute que l'on trouve fréquemment des pyrites et de l'oxydule magnétique dans la pâte même de ces roches. On voit que la véritable appréciation de ce mode de gisement des minerais de fer, considérés comme faisant presque partie des roches éruptives, n'a été retardée que par les incertitudes qui existaient sur l'origine des grunsteins.

L'hématite rouge compacte ou fibreuse, l'hématite brune, et plus rarement le fer oligiste et le fer oxydulé, constituent ces gîtes de contact; ils y sont quelquefois traversés de veines de fer spathique. Le quartz est la gangue la plus ordinaire; quelquefois on y trouve aussi de la baryte sulfatée, du spath calcaire, etc.

Le district des Vosges présente un type de ces gîtes dont les caractères sont plus significatifs encore que ceux du Harz. Le gîte de fer oligiste de Framont est un des plus beaux exemples qu'on puisse citer des gîtes irréguliers liés aux roches éruptives, et subordonnés aux roches métamorphiques en contact. Une masse de porphyre a soulevé autour d'elle les terrains stratifiés, et le minerai de fer, consistant en fer oxydé rouge mélangé de fer oligiste cristallin, est contenu dans l'un des plans de stratification des alternances schisteuses et calcaires, ainsi redressées presque verticalement et appliquées contre la masse ignée dont elles suivent les contours. L'exploitation très-avancée permet de suivre

Digitized by Google

les détails de l'allure du gîte. En considérant ces vastes excavations, en forme de cheminées, qui semblent s'élancer des profondeurs du sol, en examinant ces parois tapissées de minéraux cristallins qui pénètrent les roches du toit et du mur, il semble qu'on assiste à la formation de ces crevasses et aux phénomènes de leur remplissage. L'imagination chercherait en vain des formes plus expressives, plus en rapport avec l'origine ignée qu'on leur attribue. L'oxyde de fer pénètre les roches, les empâte, se concrétionne dans les vides, et ses géodes cristallines reproduisent les belles dispositions et les couleurs brillantes des fers oligistes du Vésuve ou des volcans de l'Auvergne. Au contact du minerai, tout devient cristallin : les roches quartzeuses passent à des jaspes ferrugineux, les calcaires aux dolomies, et ces éléments forment des brèches où le minerai joue le rôle de ciment.

La chaîne métallifère de la Toscane contient de nombreux gîtes cuprifères, dans lesquels les caractères des filons de contact sont exprimés avec une précision telle, que ces gîtes peuvent être également considérés comme de véritables types.

Fig. 44.

Dans cette chaîne, dont les serpentines ont déterminé les principaux accidents, le terrain crétacé est fréquemment dans un état d'altération métamorphique très-prononcé. On a donné le nom de *gabbros* à des roches rouges et verdâtres qui forment des zones de contact autour des masses serpentineuses, et c'est dans ces gabbros que se tiennent la plupart des filons cuprifères. Ces filons sont ainsi

subordonnés aux serpentines, d'abord par leur gisement dans les roches métamorphiques et suivant les plans de contact, et en second lieu par leur composition, qui est de serpentine friable et altérée. C'est dans ce remplissage magnésien que sont disséminés les pyrites cuivreuses et les cuivres panachés, en amas et rognons plus ou moins abondants, plus ou moins volumineux.

Un des caractères les plus singuliers de ces filons irréguliers cuprifères, c'est que leur puissance, qui est souvent presque nulle aux affleurements, 20 à 30 centimètres, par exemple, se renfle rapidement en profondeur, dépasse plusieurs mètres, et atteint quelquefois une épaisseur totale de 15 mètres. Ce sont donc des masses cunéiformes ou amygdalines, qui semblent avoir été insérées suivant les contacts ondulés des roches éruptives et des roches métamorphiques.

La coupe figure 44, faite dans la partie supérieure du gite célèbre de Monte-Catini, peut donner idée de sa forme. Outre la disposition cunéiforme qui constitue le caractère le plus saillant de cette coupe, on remarquera une loi intéressante de distribution du minerai. Le toit est régulier dans sa forme et son inclinaison ; mais le mur présente des anfractuosités multipliées, et c'est dans ces anfractuosités que se trouvent les principales accumulations de cuivre panaché.

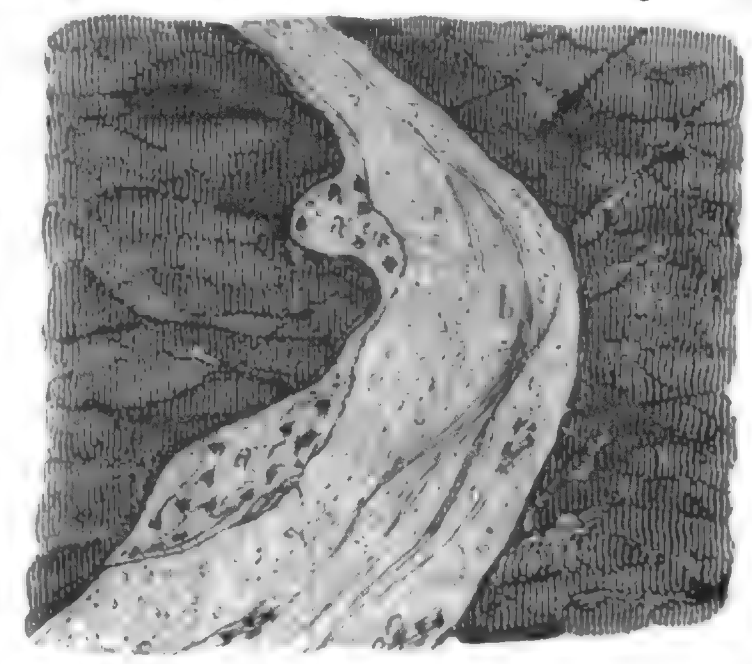


Fig. 45.

Ainsi le minerai (a) existe principalement vers le mur du filon, et le plus souvent il est rassemblé dans ses anfractuosités de manière à donner lieu à des concentrations remarquables. L'épaisseur du filon (b) est remplie de détritus des épontes.

Digitized by Google

Il arrive quelquefois, par un changement subit dans l'allure de ces filons, généralement inclinés à 45 degrés, mais très-onduleux, que le toit devient le mur et réciproquement. Cette disposition est indiquée par la coupe figure 45. D'après cette disposition, le minerai (a) se trouve à la fois vers le mur dans la partie supérieure, et vers le toit dans la partie inférieure du filon, qui d'ailleurs, par une inflexion inverse, ne tarde pas à reprendre le régime ordinaire de son inclinaison.

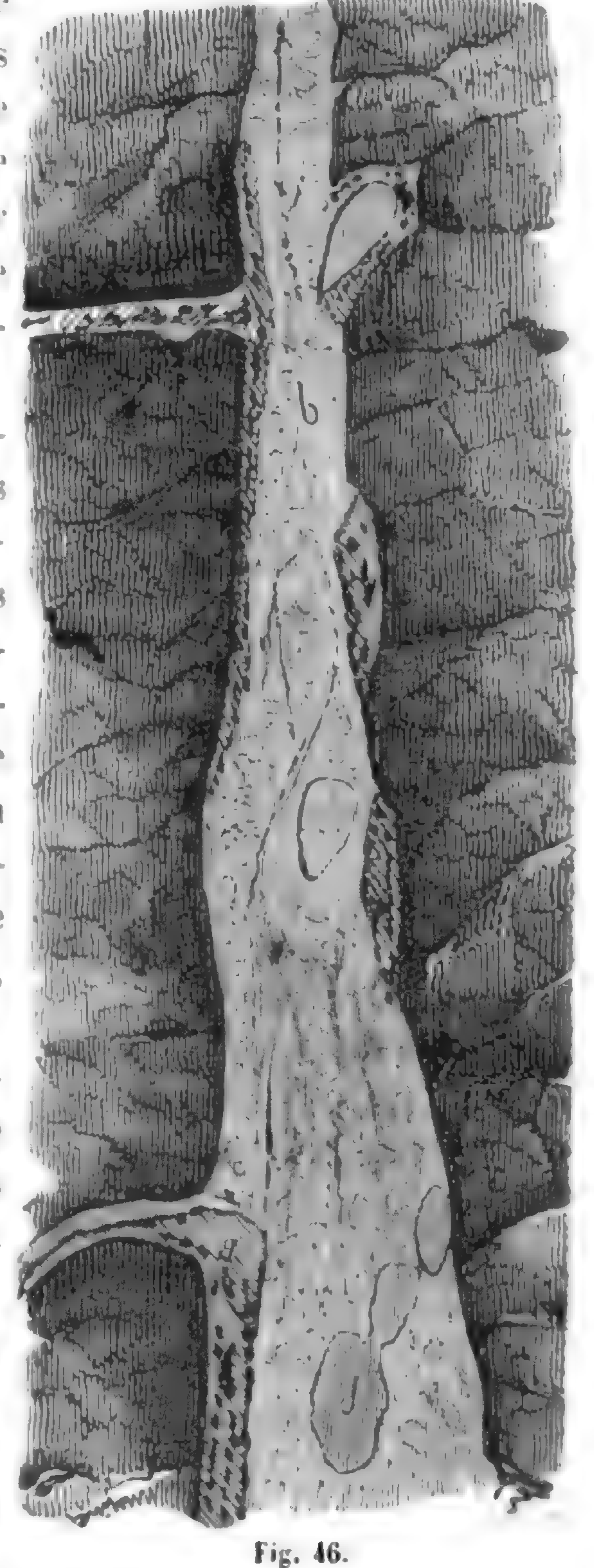


Fig. 46.

Les concentrations de minerai atteignent en certains points des dimensions considérables. Elles prennent alors la forme de masses lenticulaires dont les surfaces ondulées font varier l'épaisseur de $0^m,10$ à $2^m,20$, et dont la direction, soutenue sans aucune interruption sur une longueur de 15 à 20 mètres, atteint un développement encore supérieur, suivant l'inclinaison. Dans ces parties, le minerai forme de véritables salbandes continues, parallèles au toit et au mur, et présente le fait remarquable d'une accumulation de minerai pur qui, sur un point récemment exploité, a dépassé 300 mètres cubes.

L'expérience de l'exploitation a indiqué comme règles, 1° que

le minerai allait toujours en augmentant de proportion à mesure que les travaux se sont approfondis; les rognons devenant plus fréquents et plus gros, les concentrations plus importantes, et la nature même du minerai devenant plus riche; 2° que les croisements ou plutôt les bifurcations du filon principal étaient généralement les points les plus riches.

Dans le voisinage des grandes masses de minerai, la serpentine friable, qui constitue le remplissage du filon, est imprégnée de particules de minerai; de telle sorte qu'en la divisant et en la soumettant à des lavages on obtient, outre le minerai ordinaire, des schlicks d'un titre assez élevé.

L'allure générale du filon en direction est de l'est à l'ouest, mais elle est soumise à des courbes fréquentes. La coupe fig. 46, faite *horizontalement*, en un point de son développement, met en évidence plusieurs des conditions précitées de bifurcation, de renflement et de distribution du minerai accumulé vers les parois, surtout vers les points où il existe des ramifications.

Si l'on cherche à déduire quelques conclusions théoriques des faits qui viennent d'être exposés, on est conduit à considérer le filon de Monte-Catini comme une fracture produite dans les gabbros, et probablement en relation avec les masses serpentineuses qui doivent exister dans les profondeurs du sol. Cette fracture a été remplie de fragments et de détritus appartenant aux serpentines et aux gabbros, et, suivant toute probabilité, les minerais postérieurs aux serpentines proviennent d'émanations qui ont eu lieu à la suite des éruptions, à travers les *évents* ainsi préparés. L'effet des émanations métallifères a été de concentrer des masses de minerais, principalement suivant les plans du toit et du mur, et de pénétrer les serpentines friables de particules qui, obéissant aux lois de l'affinité, se sont réunies en noyaux globuliformes et lenticulaires.

Ce gîte est un exemple de ces grandes accumulations métallifères dont les affleurements sont presque nuls, et qui sont en quelque sorte fermés à la surface.

Les gîtes qui se rapportent à ce type sont très-fréquents dans

la chaîne métallifère de la Toscane, mais leur allure *en chapelet* et la dissémination variable du minerai dans les gangues magnésiennes en rend la recherche assez difficile. Ainsi la mine du Terricio a présenté, dans un filon de nature analogue, des blocs de dimensions considérables, mais sans qu'on y ait trouvé

Fig. 47.

assez de suite et de régularité pour établir une exploitation. La coupe ci-dessus, fig. 47, qui représente le fond d'une galerie, exprime bien les circonstances de gisement du filon vers le con-

tact des gabbros et de l'alberèse (calcaire à nummulites) stratifié; elle met en évidence l'isolement d'un bloc de cuivre pyriteux au milieu des argiles stéatiteuses qui remplissaient le filon.

D'après les caractères des gîtes de minerais de fer et de cuivre que nous venons de décrire, on voit que les gîtes de contact consistent en filons puissants et irréguliers, qui paraissent principalement subordonnés à certaines roches éruptives, feldspathiques ou magnésiennes de la période porphyrique.

Dans certains cas, les relations de position restent incertaines et éloignées, ce dont le gîte du Rammelsberg, au Harz, nous fournira un exemple.

Le Rammelsberg est une montagne haute de 350 mètres, composée de schistes argileux de transition; elle domine la ville de Goslar. Dans ces schistes, et suivant leur plan de stratification, se trouve contenu un gîte puissant de minerai qui affleure vers le tiers de la hauteur du Rammelsberg.

La puissance du gîte va jusqu'à 50 mètres, tandis que sa plus

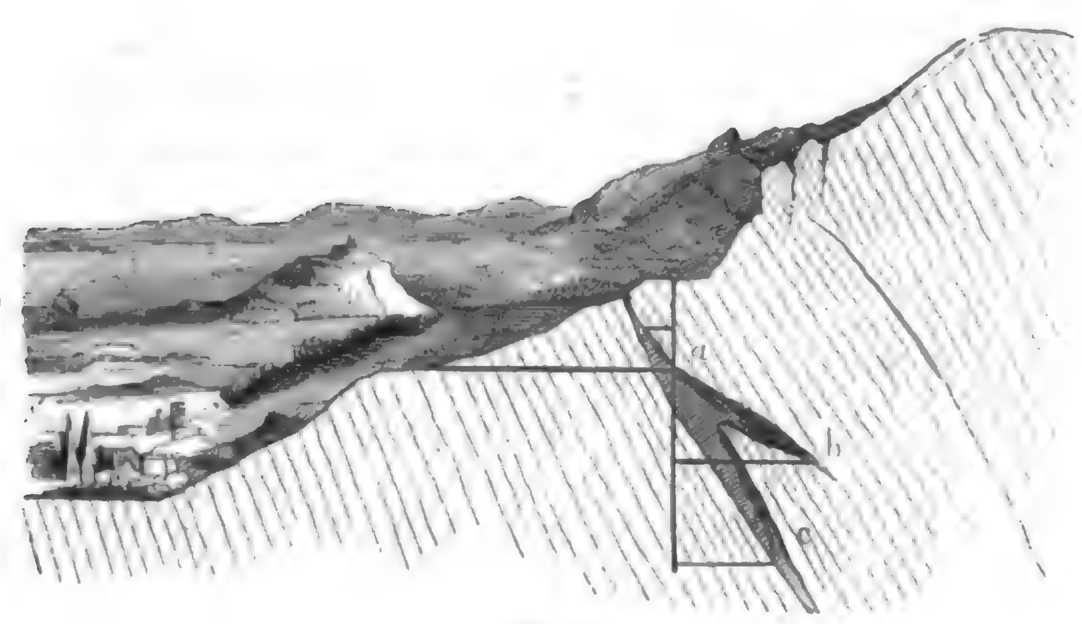


Fig. 48.

grande longueur en direction n'est que de 600 mètres au plus. Ce gîte s'amincit, suivant sa direction, de manière à présenter en coupe horizontale une forme lenticulaire, il se perd dans les

Digitized by Google

plans de stratification du terrain schisteux. Cette longueur de direction diminue en profondeur, ainsi que la puissance du gîte; à 260 mètres de profondeur, la direction n'est plus que de 230 mètres, et la puissance reste au-dessous de 10 mètres, fig. 48.

Le gîte du Rammelsberg n'est pas absolument concordant avec la stratification des couches. Vers la profondeur de 120 mètres, il y a une bifurcation dite branche du toit (*b*), qui coupe nettement cette stratification, l'inclinaison du mur de cette branche n'étant plus que de 24°, tandis que l'inclinaison générale du gîte (*a*, *c*) et des thonschiefer est de 50 à 60°. L'ensemble du terrain est très-fissuré, et l'on voit en plusieurs points se détacher du gîte des petites veines de minerai qui traversent le terrain encaissant suivant une direction presque perpendiculaire à celle de la masse principale. Enfin, la puissance diminue graduellement à mesure que l'on s'approfondit, et l'opinion générale est que ce gîte a la forme d'un amas qui, dans le sens de la profondeur, doit se terminer en coin, comme cela a lieu dans le sens de la direction.

Ce gîte n'est pas moins spécial par sa composition que par sa forme; il est entièrement composé de minerais très-compactes et massifs, presque sans mélange d'aucune des gangues qui accompagnent ordinairement les substances métallifères.

Ces minerais sont : 1° une pyrite grise compacte, composée d'un mélange intime de galène, pyrite de fer, pyrite cuivreuse et blende; 2° une pyrite de fer, jaune, compacte, contenant en mélange intime 18 à 20 pour 100 de pyrite cuivreuse. La mine grise plombifère se trouve principalement au mur et du côté de l'ouest, tandis que la mine jaune cuprifère domine au toit et du côté de l'est.

Vers le toit et le mur, les minerais empâtent des fragments de thonschiefer, et donnent naissance à une espèce de brèche à noyaux de schiste argileux, devenu dur et compacte, avec ciment pyriteux. Quelquefois même on trouve dans l'intérieur du gîte des fragments de schiste : ils sont durcis, imprégnés de

Digitized by Google

quartz et entrecoupés par une multitude de petites veines métallifères. Il n'existe pas d'autres gangues que ces débris, si ce n'est accidentellement un peu de quartz et de baryte sulfatée.

On remarque d'ailleurs que les variations de composition des minerais déterminent toujours des lignes parallèles au toit et au mur du gîte. Ces variations, produites par le contact ou le mélange de quartz ou de débris, ont même souvent lieu d'une manière assez nette pour déterminer une structure rubanée très-prononcée. Enfin, quelques fissures sillonnent le gîte du toit au mur, et renferment des minéraux cristallins, tels que les pyrites elles-mêmes, le cuivre natif, le quartz, la baryte sulfatée, le gypse et le calcaire; ces fissures s'arrêtent nettement au toit et au mur.

Ce gîte du Rammelsberg, si excentrique par ses caractères minéralogiques, par ses formes, et jusque par sa situation sur les limites géographiques du Harz, ne se rattache, d'une manière évidente, à aucune roche éruptive. Si cependant on examine la coupe intéressante que M. Hausmann a donnée à travers le Westberg, le Nordberg, le Steinberg et le Rammelsberg on voit que les trois premiers points culminants sont déterminés par la sortie des masses amphiboliques qui ont suivi les plans redressés du terrain schisteux, et qu'au Rammelsberg les minerais qui occupent dans le terrain une position analogue à celle des masses éruptives dans les autres montagnes du pays ne paraissent en quelque sorte qu'un terme différent de l'influence des phénomènes ignés sur ces terrains redressés.

Parmi les filons de contact les plus célèbres, nous devons encore citer ceux des mines de mercure d'Almaden, en Espagne.

Le gîte d'Almaden se compose de trois filons-couches, parallèles, placés en quelque sorte côte à côte, et concordants avec la stratification onduleuse et inclinée des grès et des schistes siluriens qui les enclavent. Ils sont en même temps concordants avec le plan de contact d'une roche métamorphique, dite Fraylesca, qui forme une zone entre le terrain stratifié encaissant les filons, et les porphyres dioritiques.

Digitized by Google

Les trois filons, de 6 à 12 mètres de puissance, suivent les alternances stratifiées des grès et des schistes. Ces alternances ondulent dans le sens vertical comme dans le sens horizontal; de telle sorte, que les coupes faites par les neuf étages d'exploitation donnent toujours des dispositions analogues, mais dans lesquelles les écartements des filons et leur puissance sont sujets à des variations plus ou moins grandes.

Les fossiles siluriens se trouvent dans des grès un peu supérieurs au faisceau des couches cinabrifères, et l'ensemble s'appuie sur la roche dite Fraylesca. Cette roche, dans laquelle est percé le puits principal, est une grauwacke altérée, solide, et dans laquelle on reconnaît souvent les éléments arénacés; son état métamorphique résulte évidemment du voisinage des masses dioritiques sur lesquelles elle repose, et qui sont visibles à plusieurs kilomètres de la mine.

Le cinabre, sublimé suivant le plan des couches du terrain dont l'inclinaison moyenne est de 80 degrés, s'est intercalé dans les grès, et les a imbibés à tel point, qu'on peut se procurer des échantillons plats, disposés dans le sens de la stratification, dont une face est à l'état de cinabre pur et cristallin, et l'autre face à l'état de grès à peine coloré, tandis que le milieu offre un passage entre ces deux compositions différentes.

Ces caractères de filons-couches, liés aux porphyres, n'appartiennent pas exclusivement au gîte d'Almaden. Beaucoup des filons de la Sierra de Los-Santos en reproduisent les conditions principales, et, d'après M. Salazar, il en existe des exemples nombreux dans les environs de Linarès, Guadalcanal, etc.

Les filons de fer spathique, qui caractérisent certains pays de montagne comme le pays de Siegen (Prusse rhénane), ou le massif du Canigou (Pyrénées), ont beaucoup d'analogies avec le Rammelsberg. Ces gîtes offrent des passages fréquents des filons aux gîtes irréguliers.

L'exemple du Stahlberg est le plus célèbre que nous puissions choisir pour type.

Le gîte du Stahlberg est une masse de fer spathique connue

Digitized by Google

sur une longueur en direction de 150 mètres. Dans sa plus grande épaisseur, ce gîte présente un amas continu et presque pur de fer spathique, ayant 15 à 20 mètres de puissance; le toit et le mur sont bien détachés par des salbandes d'argile. Plus loin, la masse se divise en trois branches de 2 à 6 mètres d'épaisseur qui se soudent à la grauwacke et s'y perdent en s'amincissant peu à peu. L'inclinaison de ces branches, dites branche du toit, branche du mur, et branche du milieu, est vers l'ouest, c'est-à-dire en sens inverse de celle de la masse principale qui plonge à l'est. A sa naissance, du côté du sud, le gîte est, au contraire, coupé très-nettement par une faille stérile au delà de laquelle on a vainement cherché sa continuation. La planche XIV, figure 1, exprime d'une manière précise les diverses conditions de gisement que nous venons d'indiquer ; c'est une coupe horizontale passant par l'étage le mieux connu.

L'allure de ce gîte, dans sa partie régulière, l'avait d'abord fait regarder comme un filon puissant, dont on devait retrouver la suite au delà de la faille considérée comme postérieure ; mais les recherches inutiles qui ont été faites dans ce but, la manière dont le gîte coupant d'abord la stratification du terrain schisteux s'y conforme ensuite en s'y ramifiant, doivent modifier cette opinion. Le gîte du Stahlberg, connu maintenant sur une hauteur plus grande que sa direction, n'est, en réalité, qu'une de ces colonnes montantes de fond dont les gîtes irréguliers présentent de si fréquents exemples.

Filons. Amas éruptifs. — Nous n'avons vu, jusqu'à présent, les gîtes irréguliers apparaître que comme conséquence subordonnée des roches ignées. Nous pourrions en multiplier les exemples sans ajouter aux traits généraux des phénomènes. Ainsi les gîtes liés au métamorphisme du gneiss comprennent les dix-neuf vingtièmes de ceux de la Scandinavie. Les célèbres amas d'Arendal, qui fournissent des minéraux si variés, ceux d'Uto, de Dannemora, de Gellivara, celui de Bastnaës, connu par la cérite et la gadolinite, sont tous subordonnés au gneiss.

La plupart des gîtes de cette classe ne sont pas, d'ailleurs, isolés des roches éruptives. Les syénites quelquefois zirconiennes, les granites porphyroïdes et les pegmatites existent souvent dans leur voisinage et avec des positions de liaison géognostique qui ont été précisées par les observations de MM. Dauvrée et Durocher.

Dans plusieurs cas, les roches amphiboliques de la Suède ont avec les minerais des rapports encore plus intimes, surtout avec le fer oxydulé. Ainsi le Taberg est un des premiers exemples qui aient été cités de minerais évidemment *éruptifs;* l'amphibole y forme une protubérance au milieu des gneiss, et cette amphibole contient une quantité considérable de fer oxydulé, rassemblé en veines ou disséminé dans la masse.

Nous pouvons appuyer ce principe des minerais éruptifs sur quelques autres exemples. Ainsi les trapps de Kewena-Point, sur les bords méridionaux du lac Supérieur, ainsi que ceux du Palatinat, renferment souvent du cuivre natif. Le trapp métallifère du lac Supérieur contient des veines de datholite avec du cuivre métallique en écailles, de la prehnite qui est dans le même cas, enfin de l'analcime, de la laumonite et du spath calcaire. Ces minéraux accidentels du trapp sont d'autant plus remarquables que nous avons eu déjà occasion de les citer dans les diorites d'Andreasberg. M. Élie de Beaumont, en donnant connaissance de ces faits, a rappelé que le platine natif a été trouvé dans un trapp de Choco, et qu'on l'a également rencontré dans les diorites de l'Oural avec tous ses annexes, tels que l'iridium, le palladium, etc., ce qui semblerait indiquer positivement l'existence des métaux natifs dans l'intérieur du globe.

Nulle part les relations du contact des gîtes métallifères avec les roches éruptives ne se trouvent plus nettement exprimées que dans certaines parties de l'Italie.

L'île d'Elbe, célèbre de tout temps par ses mines de fer, comprend deux groupes de terrain très-distincts. Le Monte-Campana, centre de la partie occidentale, est un groupe conique de montagnes composées presque entièrement de roches feldspathiques

Digitized by Google

qui ont traversé les terrains sédimentaires. On n'a pu encore observer aucune liaison entre ces roches granitiques et porphyriques et les gîtes métallifères; tout le groupe du Monte-Campana paraît stérile en minerais.

Les gîtes métallifères de l'île d'Elbe sont tous concentrés avec les serpentines dans la partie orientale. Les roches sédimentaires de cette partie de l'île sont métamorphiques; mais le métamorphisme y affecte un caractère particulier, remarquable par la fréquence du gabbro-rosso et par les mélanges des diverses roches avec les principes serpentineux, mélanges qui constituent des marbres analogues aux marbres campan des Pyrénées, et surtout des gabbros argileux, verts ou rougeâtres, à structure glanduleuse. Cette concordance géographique des serpentines et des gîtes métallifères résulte d'ailleurs d'une concordance géologique encore plus prononcée.

Le puissant filon de fer oligiste exploité près de Rio est compris entre les couches schisteuses relevées sur les flancs des montagnes de Sainte-Catherine (planche XVII); or tout ce groupe est composé de masses serpentineuses, de telle sorte que ce gîte puissant peut être considéré comme un gîte de contact. La nature essentiellement cristalline des minerais, leur enchevêtrement dans les diverses couches métamorphisées du terrain encaissant, éveillent l'idée de sublimations métallifères prolongées à travers ces couches, et l'étude des détails démontre d'ailleurs que ces sublimations ont eu lieu sous l'influence d'une chaleur et d'une pression considérables.

En effet, les gangues varient avec les roches en contact : elles sont de quartz cristallin dans les schistes quartzeux; dans les couches calcaires elles sont composées d'amphibole et d'yénite. Les roches encaissantes elles-mêmes ont donc évidemment fourni une partie des éléments qui forment ces gangues; or ces déplacements moléculaires, l'état cristallin des couches dont l'âge est jurassique ou crétacé, constituent un ensemble de phénomènes qui n'a pu se produire que sous une influence ignée très-énergique.

Digitized by Google

L'amas de fer oxydulé et d'hématite du mont Calamita ne laisse aucun doute à cet égard. Cet amas, bien plus puissant que celui de Rio, est enclavé dans une des principales montagnes de la même partie de l'île. La montagne de Calamita a été produite par le soulèvement des roches stratifiées dont la charnière de rotation est la vallée qui sépare Porto-Longone de Capoliveri ; de telle sorte qu'elle présente du côté de la mer la coupe des couches soulevées. Au cap Calamita, qui forme la saillie la plus avancée, le gîte présente un caractère décisif exprimé par la vue ci-jointe (planche XVIII).

La masse principale est composée de fer oxydulé et d'hématite; tout le couronnement des escarpements présente une série de calcaires et de schistes cristallins stratifiés. Au contact du minerai et des roches stratifiées, on remarque surtout une couche de dolomie blanche, grenue, dont les caractères tranchés expriment de la manière la plus complète les perturbations de la stratification. Cette couche, courbée en voûte, forme un immense arceau de plus de 100 mètres de hauteur.

La disposition du terrain ne permet pas de douter que les minerais de fer n'aient réellement joué le rôle de roches soulevantes, et que les faits multipliés de métamorphisme que présentent les roches stratifiées ne soient également dus aux phénomènes d'émanation qui ont accompagné leur sortie. Ainsi la couche la plus apparente et qui contraste le mieux avec les roches soulevantes est précisément la couche calcaire qui est en contact avec elles et supporte les couches schisteuses qui forment le haut de l'escarpement. Cette couche calcaire est changée, sur presque tous les points de son développement, en dolomie saccharoïde, compacte ou grenue : accidentellement, on peut y remarquer, dans les fissures, le fer oxydulé à l'état cristallin et des infiltrations cuivreuses qui la colorent en vert; enfin le contact de cette roche soulevée et de la masse ferrugineuse soulevante présente des magmas d'amphibole et d'yénite, évidemment produits par des réactions de contact.

Si l'on étudie la composition de cet amas, enfoncé comme un

Digitized by Google

Vue de l'amas de fer oxidulé au Cap Calamita

(Île d'Elbe)

Digitized by Google

coin dans les strates calcaires et schisteux, et révélant, sur tout son pourtour, des phénomènes détaillés de fracture et de métamorphisme, on voit que toute la masse centrale est composée de fer oxydulé très-compacte et très-dur. En quelques points, ce fer oxydulé, mélangé d'hématite brune, forme des magmas, de véritables brèches avec fragments anguleux des roches brisées et altérées. D'autres fois l'existence de puissantes masses calcaires ou schisteuses dissoutes dans le minerai s'annonce par des zones d'amphibole, d'yénite et de silice qui déterminent sur ces points une disposition ondulée et souvent amygdaline.

Il faut toute l'intensité et toute l'évidence de ces caractères pour faire admettre que les masses métallifères aient pu sortir ainsi, presque à la manière des roches ignées, avec une puissance métamorphique aussi grande; mais ce fait, une fois constaté, donne l'explication d'une foule de caractères des gîtes de minerais. Ainsi, près du cap Calamita, le rocher de Punta-Rossa est une colonne éruptive de fer à divers degrés d'oxydation, éruption qui a eu lieu à la manière de certains dykes basaltiques. Autour de cette masse ferrugineuse les schistes présentent de nouveaux phénomènes de métamorphisme; la chaux sulfatée, le quartz résinite, etc., montrent que ces phénomènes doivent varier à chaque pas, non-seulement d'après la nature des matières éruptives, mais plus encore d'après la composition des roches traversées.

Les gîtes de la chaîne métallifère de la Toscane présentent des dispositions non moins caractéristiques.

Le Campigliese contient surtout des gîtes que l'on peut appeler des filons en stocwerks. Cette contrée est parcourue par de nombreux affleurements qui sillonnent les marbres jurassiques et les calcaires ou schistes crétacés. La plupart de ces affleurements suivent la direction de l'arête culminante du Monte-Calvi, autour duquel ils sont principalement groupés; mais, au lieu d'être continus comme dans les véritables filons, ils sont très-interrompus, comme si ces matières n'avaient pu arriver jusqu'à la surface du sol qu'en certains endroits de leur direction.

Digitized by Google

C'est qu'en effet ce ne sont pas des filons-fentes, mais de véritables dykes métallifères sortis à la manière des roches trappéennes, à travers le terrain disloqué.

Sur les points nombreux où ces dykes ont été ouverts, on a reconnu l'allure la plus irrégulière. Ils n'ont ni toit ni mur définis, mais ils s'enchevêtrent dans les marbres jurassiques ou les schistes crétacés qu'ils traversent, en les pénétrant et les métamorphisant de manière à en rendre la composition mixte.

Les gangues de ces dykes sont des hématites brunes manganésifères, compactes ou terreuses, de l'yénite, et surtout des amphiboles vertes ou jaunâtres, à base de magnésie et de chaux, dont les grandes aiguilles, rayonnant du centre à la circonférence, produisent des effets de groupement radié très-remarquables. Les matières métallifères : cuivre pyriteux, blende ou galène, occupent souvent le centre de ces rognons rayonnés ou sont disposés suivant des zones concentriques, de telle sorte que le minerai est bien évidemment contemporain de la gangue.

La planche XIX représente une exploitation à ciel ouvert qui a été pratiquée dans un de ces filons. Elle exprime à la fois la structure en grand de la masse métallifère, enchevêtrée dans le calcaire, et sa structure de détail, globuleuse et radiée. Les parties qui n'affectent point cette structure radiée sont remplies soit par des amphiboles à petites aiguilles confusément groupées et imprégnées de minerai, soit par des hématites compactes ou terreuses, soit enfin par le calcaire interposé.

Tous les filons du Campigliese présentent des caractères identiques, qu'on peut constater sur beaucoup de points où des excavations ont été ouvertes ; seulement, les minerais y varient beaucoup de nature. La galène, la blende, le cuivre pyriteux, le fer, sulfuré se substituent souvent les uns aux autres, de manière à rendre toute appréciation de la valeur de ces filons très-incertaine, en dehors des points mêmes où l'on opère. Partout ces matières métallifères se montrent incontestablement contemporaines des gangues où elles sont disséminées, et l'ensemble de ces gites constitue de véritables dykes sortis à travers les ter-

Digitized by Google

Digitized by Google

[illegible]

[illegible]

rains stratifiés qu'ils coupent, suivant des directions déterminées, par des éruptions non continues, mais assez rapprochées les unes des autres pour que les directions soient faciles à suivre. Ces directions sont parallèles entre elles et parallèles aux lignes caractéristiques de la configuration du sol, c'est-à-dire à la direction des crêtes culminantes et du littoral. Enfin les dikes métallifères ont divisé et métamorphisé les terrains encaissants, de manière à prouver qu'ils ont été formés de bas en haut et sous la double influence de la chaleur et de la pression.

Les gîtes éruptifs de la Toscane nous donneront occasion d'étudier plusieurs faits intéressants relatifs, les uns aux *affleurements*, les autres à la *structure* des gîtes irréguliers.

Les affleurements des gîtes éruptifs ont naturellement une allure et des proportions qui sont en rapport avec leurs formes souterraines et leur puissance; mais ce qui les distingue d'une manière toute particulière, c'est que ces affleurements se manifestent souvent par des perturbations spéciales dans les terrains traversés.

Ainsi un de ces dykes d'amphibole et d'yénite cuprifère affleure au Temperino, au-dessous d'un escarpement de calcaires soulevés évidemment par sa sortie au jour. La planche XX, qui représente cet affleurement, met le phénomène du soulèvement en évidence : les marbres de Carrare et les calcaires roses schisteux qui leur sont superposés en stratification discordante ont été évidemment soulevés par le fait même de l'éruption du dike cuprifère.

Ce phénomène d'affleurement du Temperino fait partie lui-même d'une série d'affleurements et de travaux anciens qui, sur le versant occidental du Monte-Calvi, marquent le parcours souterrain de deux dykes éruptifs parallèles.

La vue reproduite, planche XXI, indique la marche de ces deux dykes éruptifs. Ce sont en apparence deux filons parallèles; mais, lorsqu'on étudie en détail les phénomènes d'affleurements sur ces deux lignes, qui n'ont pas moins de 4 kilomètres, on voit, d'après les détails de l'allure et de la structure, que ces filons ne

Digitized by Google

sont pas des filons-fentes, mais bien réellement des *dykes* d'éruption qui sillonnent les pentes du Monte-Calvi.

Pénétrons dans l'intérieur des mines du Temperino, et les vastes excavations qui y sont pratiquées nous permettront de constater que les minerais et les roches éruptives qui les contiennent sont bien réellement contemporains. Le chantier représenté planche XXII, fig. 1, indique la structure la plus ordinaire; la pyrite cuivreuse et l'amphibole disposées en zones concentriques ont évidemment cristallisé ensemble. Dans la figure 2 de la même planche, le minerai de cuivre forme dans l'yénite des zones parallèles; mais il est tellement fondu dans la roche, même dans les zones de concentration, qu'on ne peut établir aucune distinction d'origine entre les deux substances.

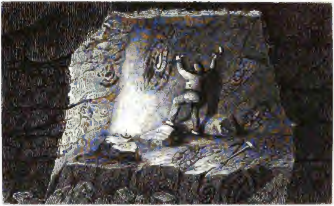
La chaîne de l'Erzgebirge, en Saxe, qui nous a fourni des exemples nombreux de filons, contient également des gîtes éruptifs non moins remarquables, notamment les gîtes stannifères de Zinnwald et d'Altenberg.

A Zinnwald, la roche qui contient l'oxyde d'étain est un greisen (quartz et mica) à gros éléments, qui forme une masse arrondie au milieu des porphyres quartzifères, et se soude même avec eux par des passages. Ce greisen est classé par les géologues de Freiberg parmi les granites, et regardé comme plus ancien que les porphyres : il contient, comme substances accidentelles, le wolfram et l'oxyde d'étain.

Ce qui frappe tout d'abord dans cette roche, c'est son état cristallin; il n'y a point de pâte, les grains de quartz sont miroitants, purs, isolés, et le mica, verdâtre, pailleteux, souvent groupé en cristaux entre-croisés, se détache parfaitement du quartz; le wolfram, disséminé dans cette roche, tranche par sa couleur noire et ses clivages. Souvent ces divers éléments se réunissent deux à deux, ou même tous les trois, pour former les géodes cristallines, dont les fragments sont bien connus dans les cabinets de minéralogie. Ces géodes fournissent les beaux cristaux de mica verdâtre à base de lithine, les quartz opaques avec scheelin calcaire octaèdre, les cristaux de wolfram, etc.

Digitized by

Pl. XIII



Digitized by Google

L'oxyde d'étain est concentré dans une série de zones courbes et concentriques, ayant au plus $0^{m},30$ d'épaisseur. Ces zones, composées des éléments du greisen auxquels s'adjoignent l'oxyde d'étain et le wolfram, semblent suivre les contours du contact du greisen et des porphyres qui l'enclavent.

Sept de ces zones sont assez épaisses pour avoir déterminé l'exploitation de l'oxyde d'étain, et l'idée qu'inspire tout d'abord leur disposition générale en zones concentriques, coordonnées à la forme extérieure de la masse éruptive, c'est que les minerais sont contemporains du greisen. Le phénomène d'une apparente stratification ne serait dès lors autre chose qu'une sorte de liquation, une disposition rubanée que M. de Humboldt a signalée depuis longtemps dans les granites dont les éléments sont très-gros et très-cristallins : et, certes, on ne regarderait pas cette origine comme douteuse si l'on pouvait démontrer que l'oxyde d'étain peut être assimilé, dans certains cas, aux éléments ordinaires des roches éruptives, telles que le quartz, le feldspath ou le mica. Cette espèce de liquation, opérée entre les éléments d'une roche très-cristalline, ne serait plus qu'un fait ajouté à celui de la contemporanéité du minerai contenu dans la roche éruptive, et ce fait aurait des analogues assez nombreux.

La masse de greisen a été, postérieurement à sa consolidation, fracturée par des cassures aujourd'hui remplies de débris, de telle sorte que les zones métallifères ont éprouvé des rejets, ainsi qu'il est indiqué par la figure 1 de la planche VII qui représente le fond d'une galerie. Ces filons-fentes sont stériles.

Les conditions de l'origine de ces gîtes ne sont plus douteuses, si l'on vient à étudier le gîte d'Altenberg.

La roche métallifère d'Altenberg est une roche compacte, grisâtre ou d'un vert sombre, qui contient souvent du quartz visible, et peut être considérée comme un porphyre quartzifère, ou plutôt comme un mélange intime de quartz et feldspath, avec mica ou chlorite. La composition de cette roche, sous le rapport de la proportion des éléments, est très-variable, et, comme ces éléments n'y sont pas distincts, les variations ne se mani-

festent que par des modifications de couleur en certains points.

On trouve accidentellement dans cette mine de petits filons cristallins formés de feldspath ou de topaze pycnite avec mica; le mica cristallisé est alors ce qu'il est à Zinnwald : il y a identité complète dans les caractères chimiques et minéralogiques. Or les passages insensibles qui réunissent la roche principale à ces filons cristallins ne permettent pas de douter que les éléments qui se montrent ainsi cristallisés ne soient ceux qui existent également dans la pâte de cette roche. Enfin, quant à la position géognostique, cette masse porphyrique de 3 à 400 mètres de diamètre est limitée par les véritables porphyres quartzifères et au sud par des granites, mais elle n'est réellement en relation qu'avec les porphyres.

Toute la masse de ce hornstein porphyrique est pénétrée d'oxyde d'étain. La présence du minerai ne se révèle d'ailleurs que par des taches brunes qui sont apparentes dans les parties les plus quartzeuses. Il n'y a point de cristaux, c'est une sorte d'imbibition de toute la masse. Les parties les plus quartzeuses sont ordinairement les plus stannifères, mais ces parties quartzeuses n'ont elles-mêmes aucune étendue ni aucune régularité de distribution. Tout ce qu'on a prétendu voir à cet égard n'était que local; il n'y a là ni filons en serpenteaux ni veines entre-croisées, et l'exploitation marche tout à fait au hasard, laissant le plus pauvre ou le stérile en piliers, et enlevant le plus riche par des chambres irrégulières, très-irrégulièrement distribuées.

L'incertitude du produit d'un abatage est telle, qu'il est impossible de juger le titre du minerai par l'apparence de la roche; aussi a-t-on établi à chaque étage de l'exploitation un petit lavage d'essai qui permet de constater à chaque pas d'une excavation ce que peut être le produit, et de reconnaître s'il faut continuer ou abandonner. Dans quelques fissures postérieures, on trouve des cristaux, mais point d'oxyde d'étain; on n'y rencontre que des pyrites de fer et du fer oligiste titanifère.

En résumé, l'imbibition de l'oxyde d'étain dans la roche est

telle, que ce minerai en est évidemment contemporain, et, en quelque sorte, partie constituante. Il n'y a pas plus de raison pour supposer son advention postérieure que pour supposer celle du mica ou de tout autre élément constituant. Or l'origine éruptive de la roche n'est pas douteuse; c'est une variété de porphyre en relation intime avec les porphyres ordinaires de la contrée, auxquels cette variété est soudée et réunie par des passages minéralogiques. On chercherait en vain un indice d'isolement réel de ce porphyre métallifère, relativement au porphyre quartzifère. Qu'ils ne forment pas une seule et même masse, qu'il y ait là deux éruptions distinctes, on peut l'admettre; mais ces deux masses, ces deux éruptions, appartiennent à la même période.

Si l'on compare actuellement le gîte de Zinnwald à celui d'Altenberg, on trouvera les plus grandes analogies dans la forme de ces deux masses arrondies, dans leur position englobée dans les porphyres quartzifères, et dans les passages qui réunissent les roches qui contiennent le minerai au porphyre qui n'en contient pas. Les divergences sont : la composition de la roche plus exclusivement quartzeuse à Zinnwald, ses caractères plus cristallins, enfin la liquation et la concentration de l'étain suivant des zones concentriques. Que l'on suppose la masse d'Altenberg livrée par des circonstances que nous ne connaissons pas à cette puissance de cristallisation qui isole les diverses parties constituantes d'une roche et tend même à les disposer en zones successives, ce gîte deviendra alors ce qu'est celui de Zinnwald, et il n'y aura plus d'autre différence qu'une plus grande proportion de feldspath à Altenberg.

La concordance des caractères minéralogiques de l'oxyde d'étain avec ceux des autres éléments du greisen vient encore confirmer l'identité d'origine que nous leur attribuons. Plus la roche est cristalline, et plus l'oxyde d'étain tend à s'isoler en zones cristallines distinctes; dans les variétés compactes, il se fond dans la masse. Le minerai partage ainsi toutes les conditions de texture et de structure des roches qui le contiennent; il est lui-même élément constituant de ces roches.

Gîtes irréguliers métamorphiques. — Le principe de l'origine souterraine des gîtes métallifères étant démontré, on peut s'expliquer l'existence d'une multitude de gîtes indéfinissables dans leurs formes. Ces gîtes, que nous désignons sous la dénomination de *gîtes irréguliers métamorphiques*, consistent le plus souvent en portions de couches appartenant à certains dépôts métamorphiques, et que nous trouvons imprégnés de minerais de la manière la plus irrégulière.

C'est ainsi que les gîtes cinabrifères d'Idria en Istrie, de Ripa en Italie, appartiennent à des phénomènes d'imprégnation qui ne peuvent être soumis à aucune autre règle géologique que l'état métamorphique des roches imprégnées.

Beaucoup de gîtes de galène et de blende paraissent dus à des phénomènes analogues; mais, sans nous appesantir sur leurs caractères, qui échappent en quelque sorte à la description, nous expliquerons leur génération par un seul exemple.

Nous trouvons dans la Sierra de Los Santos le gîte de l'Inglesita, près du village d'El Hoyo, sur la pente du Cerro-de-Gata.

Ce gîte se présente sous la forme d'une arête dont la saillie, escarpée et presque verticale d'un côté, se raccorde de l'autre avec l'inclinaison du versant par des pentes assez douces pour qu'on puisse les gravir. C'est un affleurement puissant qui, après avoir suivi une direction linéaire d'environ 200 mètres, se bifurque en deux branches distinctes. Ces deux branches s'écartent et vont se perdre vers les parties supérieures du versant, ainsi qu'il est indiqué par la vue (planche XXIII).

Lorsqu'on aborde cet affleurement pour en étudier la composition, on reconnaît que les roches constituantes des pentes douces ne sont autres que les schistes de la montagne, redressés, endurcis et dans un état métamorphique très-prononcé. Les faces verticales sont composées de roches quartzeuses d'apparence variable, qui se lient, par des passages graduels, aux schistes endurcis dont elles contiennent de nombreux fragments. Au-dessous de l'escarpement vertical, les schistes sont beaucoup moins

Vue de l'escarpement des roches [illegible] (prise [illegible] dans la Sierra de los Santos (Espagne)

[illegible]

Digitized by Google

altérés, et, par conséquent, moins durs que de l'autre côté; ils succèdent sans aucun passage aux quartzites. Ce fait, d'un passage insensible des schistes aux roches quartzeuses, concordant avec une pente ménagée, tandis que la transition brusque concorde avec l'existence d'un escarpement vertical, démontre que la saillie est due à une action de dénudation exercée sur toute la surface du versant. Cette action a laissé des témoins, dont les saillies sont proportionnées à la dureté des roches, laquelle est elle-même en rapport avec leur état métamorphique.

Les roches quartzeuses qui constituent cet affleurement, dont la puissance, dans la partie centrale, atteint 8 à 10 mètres, ont avec les substances métallifères des rapports très-apparents: elles sont, en beaucoup de points, imprégnées de peroxyde rouge de fer et contiennent même de petites concentrations à sections rectangulaires d'hématite rouge fibreuse. Ainsi le peroxyde de fer présente ici des caractères qu'on n'est habitué à accorder qu'aux pâtes fluides éruptives, et cette hématite quartzeuse porphyrique, empâtant des fragments des couches traversées, est en quelque sorte une roche nouvelle à ajouter à la série des roches ferrifères.

L'abondance du peroxyde de fer n'est pas moins grande dans les roches traversées. Certaines parties des schistes en sont tellement pénétrées, qu'elles pourraient être considérées comme un véritable minerai; ces oxydes, qui se trouvent ordinairement au contact des roches quartzeuses, ont rappelé aux exploitants anglais les caractères du gossan de Cornwall, ce qui a fait donner au gîte le nom de l'Inglesita. En examinant la série de ces faits, on ne peut douter que ces pâtes quartzeuses et ces oxydes de fer qui traversent les roches schisteuses ne résultent d'intrusions spéciales qui auront eu lieu après un étoilement du sol. Or les oxydes de fer sont liés eux-mêmes à d'autres minerais, et justifient ainsi la dénomination de gossan qui leur a été appliquée.

Sur plusieurs points des affleurements, on remarque des

Digitized by Google

teintes vertes cuprifères, dues à des hydrosilicates et carbonates de cuivre, qui se trouvent en noyaux géodiques et veinules dans les parties verticales des roches quartzeuses en contact avec les schistes-gossan. Ces minerais forment souvent un enduit sur les clivages des plans de contact et pénètrent les pâtes elles-mêmes, qui, contenant en même temps beaucoup de fragments schisteux, prennent l'apparence d'une brèche métallifère. Une descenderie d'une vingtaine de mètres, placée suivant ce plan de contact, a démontré que ces indices étaient plus continus en profondeur qu'ils ne paraissent l'être suivant la direction du gîte.

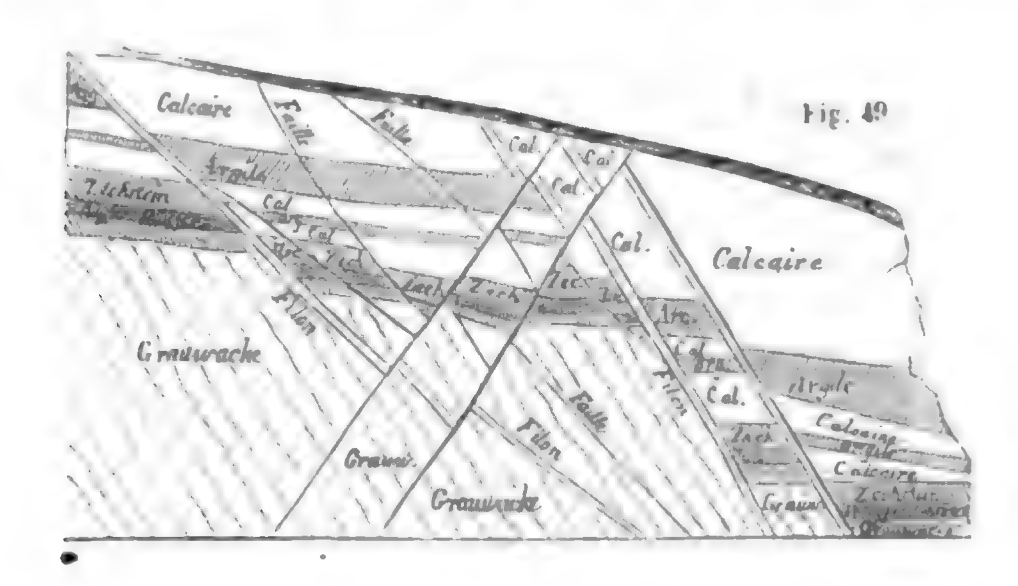
En résumant les caractères de ce gîte problématique, on voit que l'existence des minerais de fer et de cuivre est solidaire de l'état métamorphique des roches schisteuses. Or combien d'exemples ne pourrions-nous pas citer de ces imprégnations capricieuses et irrégulières? Autour du plateau central de la France, les couches relevées du lias présentent des gîtes nombreux de cette espèce, qui ont été décrits par M. Dufrénoy; enfin, dans tous les districts métallifères, on retrouve des faits semblables, qui prouvent cette solidarité constante entre les intrusions métallifères et les altérations métamorphiques.

Les gîtes métallifères, considérés dans leur ensemble, étant un des effets du refroidissement du globe terrestre, il est naturel d'en retrouver les traces contemporaines dans certains dépôts sédimentaires. Déjà les minerais de fer nous ont fourni l'exemple de dépôts métallifères stratifiés, dus à des actions métamorphiques contemporaines des dépôts dans lesquels ils sont enclavés, et nous trouvons, dans quelques formations, les minerais de cuivre dans une position analogue. Ainsi la couche du *Kupfer-Schiefer*, dans le pays de Mansfeld, nous offre la preuve d'un métamorphisme contemporain, c'est-à-dire de l'intervention de phénomènes souterrains et ignés dans ceux de la sédimentation.

Cette couche métallifère, exploitée sur un grand nombre de

Digitized by Google

points, ne fournit en général que des minerais très-pauvres; mais elle est remarquable par la constance de son développement dans toute la formation de la Thuringe. Elle est quelquefois traversée par des filons et des failles qui la découpent et la rejettent (fig. 49), mais qui n'ont sur elle aucune influence



d'enrichissement; de telle sorte que les minerais qu'elle contient ne peuvent être attribués qu'à des phénomènes métamorphiques, contemporains des actions sédimentaires qui l'ont produite.

La couche métallifère du zechstein n'est point d'ailleurs un fait qui soit resté sans analogues. On exploite aujourd'hui en Bolivie, à Coro-Coro, dans la province de la Paz (à l'ouest du lac Titicaca), des couches de grès bigarrés absolument identiques à celles de l'est de la France, mais qui sont pénétrées de cuivre natif et oxydulé en petites veines stratifiées ou croisant les lignes de stratification. Ces minéraux cuprifères ont donné, en se décomposant, une teinte verte à douze ou quatorze assises de 60 à 80 centimètres de puissance. Comme nos grès bigarrés de l'est, le grès de cette localité présente quelques impressions végétales. On y a trouvé des masses de cuivre natif, stratifiées, à surfaces inégales et ramifiées, pesant plusieurs quintaux.

Digitized by Google

Les grès bigarrés sont cités en beaucoup de points pour les minerais qui s'y trouvent disséminés. On attribue à cette formation les grès galénifères des environs de Blaiberg, près Düren. Ces grès contiennent jusqu'à 10 et 15 pour 100 de galène et de plomb carbonaté, disséminés de manière à démontrer que ces substances métallifères, amenées dans les eaux sédimentaires par des phénomènes métamorphiques, ont été stratifiés avec les sables et les cailloux quartzeux qui forment la masse principale des grès.

On voit, par cet examen rapide des diverses conditions de gisement des minerais, que la théorie des gîtes métallifères est fréquemment destinée à servir de guide pour les travaux de recherches ou d'exploitation.

Les filons réguliers ou *filons-fentes*, les *filons de contact*, les gîtes irréguliers en *veines*, *amas* ou *stockwers*, les *filons* ou *amas éruptifs*, les *gîtes irréguliers métamorphiques*, tous sont des manifestations différentes des mêmes phénomènes; les différences qu'ils présentent ne résultent que des circonstances variables dans lesquelles ces phénomènes générateurs se sont manifestés.

Il résulte en outre de ces études que, si la théorie des gîtes métallifères, appuyée sur des faits nombreux, identiques dans toutes les parties du globe, peut être aujourd'hui considérée comme établie, les conditions pratiques, c'est-à-dire celles qui règlent l'allure et la richesse des mines, sont purement locales. Il n'y a donc point de formules générales pour déterminer ces conditions d'allure et de richesse; c'est uniquement par l'expérience, c'est-à-dire par l'étude directe d'un grand nombre de gîtes et par la connaissance des études déjà faites de tous les autres, qu'un ingénieur peut arriver à des principes rationnels d'exploitation. C'est seulement alors qu'amené sur un gîte nouveau il peut apprécier les analogies, en faire, pour ainsi dire, le diagnostic, et déterminer la marche qui lui est enseignée par l'expérience des gîtes placés dans des conditions analogues.

CHAPITRE VIII

DESCRIPTION DES DISTRICTS MÉTALLIFÈRES

L'étude générale des gîtes métallifères nous a déjà donné une idée de leurs conditions de développement dans certaines contrées. Mais ces contrées classiques, qui nous ont servi de base pour l'étude des phénomènes, ne sont pas les seuls éléments de la production ; et, pour faire apprécier d'une manière exacte les richesses métallifères du globe, il est nécessaire d'étudier successivement les principaux districts métallifères de chaque pays. Cette description, que les principes établis nous permettront de faire rapidement, aura en outre l'avantage de montrer comment s'appliquent, dans chacun de ces districts, les règles de forme, de composition et de gisement posées dans le chapitre précédent. Elle donnera une idée des forces de production de chaque pays, du développement qu'elles peuvent acquérir encore et des modifications possibles dans l'équilibre commercial qui en résulte aujourd'hui.

Districts métallifères de l'Angleterre. — Depuis le treizième siècle, l'Angleterre s'est placée et maintenue en tête de la production européenne. Elle doit ce rang à la possession des deux riches districts métallifères situés principalement dans le Cornwall et dans le Cumberland, et à la puissance d'exploitation qu'y ont développée le bas prix du combustible et l'esprit industriel de la nation. Le pays de Galles est aujourd'hui un centre où se traitent non-seulement la plus grande partie des minerais extraits dans les îles Britanniques, mais

Digitized by Google

encore de ceux qui sont importés de Cuba, du Chili et de la Bolivie.

Le Cornwall fournit seul tout l'étain et les sept huitièmes du cuivre produit par les mines de l'Angleterre. La surface ondulée et aride de cette contrée ne présente presque exclusivement que des roches schisteuses de transition, accidentées à la fois par des granites et par des porphyres. La chaîne Ochrinienne, qui en forme l'axe, est une série de collines granitiques arrondies, dont la hauteur ne dépasse pas 3 à 400 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ces sommités granitiques sont enveloppées par des schistes argileux passant aux schistes talqueux et amphiboliques appelés killas, dont les couches se relèvent autour des masses qui les ont traversées. Ce sont les seules roches visibles dans les vallées et sur les plateaux, sauf les interruptions que leur font subir des dykes d'un porphyre appelé elvan.

La réunion de ces trois roches, granite, elvan et killas, constitue le sol métallifère. Les filons qui contiennent l'étain et le cuivre, et forment le véritable caractère de la richesse du pays, ne dépassent pas Truro; le nord-est du comté, ainsi que la partie avoisinante du Devonshire, où se montrent des grauwackes et des calcaires esquilleux postérieurs aux killas, ne présente plus que de rares filons de composition différente, tels que les filons d'antimoine de Huel-Boys et les filons de plomb de Pentiglaze.

L'oxyde d'étain et la pyrite cuivreuse, qui sont ainsi les deux minerais caractéristiques du Cornwall, se trouvent principalement en filons, disposés de telle sorte, qu'on peut regarder l'oxyde d'étain comme antérieur à la pyrite, mais avec une liaison indiquée par l'existence de certains filons à la fois stannifères et cuprifères. Il est ainsi démontré que la génération de ces gîtes n'a pas été instantanée, mais qu'on doit la considérer comme un phénomène lent et continu qui, entre les deux périodes, a présenté des alternances des deux minerais.

A une époque postérieure, d'autres fentes furent encore produites, mais elles sont remplies de matières stériles auxquelles s'adjoignent quelquefois des minerais plombifères et blendeux trop pauvres pour qu'on en ait pu tirer parti. Ces filons sont les croiseurs (cross course), ainsi que l'indique la carte des filons (planche XII).

Les dykes du porphyre quartzifère appelé *elvan* sont à la fois nombreux et puissants; ils paraissent antérieurs au terrain houiller et appartiennent à l'époque la plus récente des terrains de transition. D'après les recherches de M. de la Bêche, les dykes d'elvan, un seul excepté, sont antérieurs aux filons métallifères; mais, outre cette exception, il existe des exemples nombreux de pénétration des principes métallifères, de l'étain surtout, dans l'elvan. Des circonstances d'enrichissement des filons par le contact de l'elvan autorisent à conclure que ce porphyre est réellement la roche métallifère de la contrée, roche dont la sortie a précédé les émanations métallifères et contribué peut-être à provoquer la formation des fentes à filons; de telle sorte que les éruptions de l'elvan, la formation des filons et leur remplissage successif par des gangues d'abord stannifères, puis cuprifères et enfin plombifères, constituent une même série de faits qui peuvent être considérés comme ayant commencé à l'époque de la formation supérieure de transition. Ces faits présentent une série géognostique d'actions dont les termes distincts alternent entre eux, ainsi qu'il arrive pour les produits des actions sédimentaires.

La description intéressante de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont vient à l'appui de cette hypothèse. En effet, il en résulte que la direction générale de la grande majorité des filons d'elvan et des filons métallifères est parallèle à la série des protubérances granitiques qui forment l'axe du Cornwall; de telle sorte que les filons sont évidemment liés aux phénomènes qui ont déterminé le soulèvement de la contrée.

La production de l'étain en Cornwall représente, à peu de chose près, toute la production européenne : elle dépasse au-

jourd'hui le chiffre de 30,000 quintaux métriques, tandis que celle de la Saxe ne dépasse plus 3,5C0 quintaux, et que celle de quelques mines existant en Suède et en Autriche s'élève à peine à 1,000 ou 1,500 quintaux.

Les filons stannifères du Cornwall sont principalement composés de quartz; ce quartz est mélangé tantôt de chlorite, tantôt de tourmaline et même de mica. L'uniformité de ces gangues est accidentellement interrompue par l'hydroxyde de fer, quelquefois par du spath-fluor. Dans les gangues ainsi caractérisées se trouve, disséminé en particules, en petits cristaux, en nœuds, veines et druses cristallines, le peroxyde d'étain, but principal des recherches et des travaux souterrains. Comme minerais annexes, on y trouve d'abord la pyrite cuivreuse qui, dans certains cas assez rares, devient dominante à tel point, qu'une mine d'étain devient accidentellement une mine de cuivre. On y trouve en second lieu le mispickel, le fer arséniaté, l'uranite, le wolfram.

La richesse du filon, ou, en d'autres termes, la teneur des gangues, est très-variable. On peut évaluer à 2 pour 100 au plus la teneur moyenne des massifs abattus, et, à ce taux, l'exploitation est avantageuse, même dans les roches dures, parce que les frais de préparation mécanique et de traitement métallurgique sont faibles pour ce minerai, qui est à l'état d'oxyde et dont la densité est considérable : aussi les filons sont-ils presque toujours productifs, pour peu qu'ils soient stannifères.

Il résulte des observations faites sur les influences qui paraissent avoir contribué à féconder les filons, que les filons d'étain sont concentrés vers la limite de contact des granites et du killas, mais que leur siége principal est le granite. Ainsi les filons d'étain ont leur siége principal dans les environs de Saint-Just, vers l'extrémité S. O. du district, partie où dominent les granites. Il est cependant à remarquer que quelques filons stannifères, qui sont en totalité ou en partie dans le killas, y sont plus riches que tous les autres; d'où l'on pourrait peut-être conclure

Digitized by

que les cassures de cette première époque ont porté principalement sur la région granitique, mais que le killas avait alors, comme cela se trouve confirmé par les filons cuprifères postérieurs, une plus grande aptitude à condenser ou à retenir les émanations métallifères.

L'allure des filons d'étain est très-variable et telle qu'on doit supposer celle de fentes produites dans des roches hétérogènes. Il y a des filons qui ont été suivis sur plus de 2,000 mètres, et dont la puissance moyenne est entre $0^m,60$ et $1^m,20$; ils présentent fréquemment des étranglements complets ou des renflements à 3 et 4 mètres. Généralement, un renflement correspond à une accumulation de minerai, et c'est pour cela qu'un filon s'enrichit d'autant plus, dans le cas d'intersection par un autre filon, que l'angle de croisement est plus aigu; au contraire, si un filon vient à se bifurquer et à s'étrangler, il y a appauvrissement. Cette bifurcation se manifeste surtout dans un changement de terrain : ainsi, dans certains cas, des filons qui courent dans le granite se bifurquent et s'éteignent dans le killas; d'autres fois, c'est l'inverse qui a lieu.

L'oxyde d'étain constitue en Cornwall quelques stocwerks qui existent surtout dans le granite et rarement dans le porphyre elvan. Parmi ceux que renferme le granite, celui de Saint-Austle est surtout remarquable parce que son exploitation à ciel ouvert permet d'en étudier les diverses parties. Le granite encaissant est devenu friable par la décomposition du feldspath en kaolin; il est traversé par un grand nombre de veines composées de quartz tenant de la tourmaline et de l'oxyde d'étain. Ces veines ont 12 à 15 centimètres de puissance: les principales sont verticales et dirigées E. O.; d'autres, inclinant vers le sud, coupent les premières et se soudent avec elles en donnant naissance à des druses. La disposition du gîte concorde avec l'idée d'une origine postérieure au granite encaissant qui aurait été successivement soumis à des mouvements qui l'ont fracturé et à des émanations qui en ont en quelque sorte métamorphisé la masse.

Digitized by Google

Toutes les roches du district, préexistantes comme le granite aux émanations métallifères, peuvent donc présenter comme lui quelques cas d'un métamorphisme analogue. C'est ce qui arrive pour le killas avec des circonstances spéciales résultant de la structure schisteuse de cette roche. Ce genre de gîtes est connu dans le Cornwall sous la dénomination de *tinfloors;* il consiste en veines et petits amas d'oxyde d'étain avec les gangues ordinaires de quartz et de tourmaline. Ces gîtes sont disposés principalement dans le sens de la stratification et presque toujours placés vers le contact du granite avec le killas; les plans de ce contact semblent avoir servi de cheminées aux émanations métallifères qui se sont infiltrées dans les plans de séparation des couches schisteuses. Cette disposition, qui a souvent été présentée comme une preuve de la contemporanéité du killas et de l'oxyde d'étain, ne nous semble qu'une manière d'être spéciale du gîte en stocwerks; elle s'explique par la structure même du killas, dont les couches, ayant été soumises à une grande pression de la part des émanations métallifères qui tendaient à sortir vers la surface, ont dû se séparer, se disjoindre, et par conséquent se métamorphiser dans le sens de la stratification.

Il nous reste à citer encore, dans le Cornwall, les alluvions stannifères, résultats évidents de l'action des eaux sur les gîtes préexistants. Ces alluvions sont anciennes et recouvertes, suivant les localités, de 5, 10 et jusqu'à 20 mètres d'autres alluvions; on y trouve des fragments de granite, d'elvan et de killas; la présence de l'étain y est annoncée par des galets composés de quartz et de tourmaline, guangues ordinaires des minerais en place. L'étain y est tantôt en grains très-fins, mêlé à des sables rassemblés à la partie inférieure du dépôt, tantôt disséminé en galets assez gros. Les pyrites et le mispickel ont disparu; aussi les exploitations de ces alluvions, ainsi placées dans les mêmes conditions que celles de Banca, fournissent-elles de l'étain très-pur et très-recherché. Ces gîtes, désignés sous le nom de *stream vorks*, sont à la proximité de Saint-Just et de

Saint-Austle, centres principaux des gîtes en place. Les stream vorks fournissent seuls l'oxyde d'étain fibreux et concrétionné, dit étain de bois; mais cette variété a été trouvée en place dans de petits filons.

Les gîtes de minerais de cuivre consistent, dans le Cornwall, en filons puissants concentrés principalement vers l'est du district, aux environs de Redruth. La roche constituante de cette partie du district est, ainsi qu'il a été dit, le killas. La direction générale des filons métallifères coïncide à peu près avec la direction générale des côtes et de l'axe de la chaine Ochrinienne, tandis que des filons croiseurs coupent presqu'à angle droit les filons de cette époque.

La composition des filons cuprifères est très-simple, la gangue est exclusivement le quartz : l'hématite brune, les roches altérées des épontes et l'argile se joignent accidentellement au quartz, et font varier l'aspect et la dureté des masses. Dans les filons à gangue saine et dure, le minerai principal est la pyrite cuivreuse à laquelle se réunissent le sulfure de cuivre, l'oxydule, le cuivre natif; les minerais annexes sont la pyrite de fer, le mispickel, l'oxyde d'étain et la blende. Dans les gangues pourries, dont l'altération se manifeste surtout par la prédominance de l'hydroxyde de fer, les sulfures disparaissent, et l'on trouve le cuivre à l'état de bioxyde, de carbonate, d'arséniate, etc. Toutes ces matières imprègnent le quartz, et, lorsqu'il existe des fragments du toit ou du mur, ils sont liés entre eux et empâtés par ce même quartz métallifère.

L'argile ne se trouve qu'en salbandes; elle est ordinairement stérile. D'après l'allure de ces salbandes qui, dans beaucoup de filons, n'existent que d'un seul côté et passent quelquefois de l'autre côté en coupant le filon, on est conduit à supposer que cette argile est généralement postérieure au filon lui-même, qui a été en quelque sorte rouvert après un premier remplissage, et rempli de nouveau.

L'hydroxyde de fer domine surtout dans la partie supérieure des filons; il en forme l'affleurement, et indique, en quelque

Digitized by Google

sorte, par les caractères de sa composition, si le filon est riche ou pauvre et si l'on doit y entreprendre des travaux. En effet, cette gangue ferrugineuse, appelée *gossan*, paraît résulter de la décomposition des pyrites ; elle est plus facile à explorer par sa position superficielle, sa nature fendillée et quelquefois même pourrie, que les autres parties du filon, et peut fournir, par sa teneur en composés métallifères, des indices précieux sur la composition intérieure. Ces parties sont soigneusement recherchées lorsqu'elles contiennent des minerais décomposés et par conséquent plus faciles à traiter que les sulfures.

Les filons de cuivre sont remarquables par leur étendue ; le principal d'*United-Mines* a été, dit-on, reconnu sur une longueur de 9,000 mètres. Ces filons sillonnent les environs de Redruth, concentrés principalement sur une largeur d'environ 12 kilomètres et une longueur égale : la planche XII donnera une idée de leur allure et de la manière dont ils sont accidentés par les croiseurs. Cette carte, faite d'après les notes de M. Daubrée, représente les principaux filons du district d'*United* et de *Consolidated-Mines ;* elle fait bien comprendre ce que l'on doit entendre par les directions générales, qui ne sont pas tellement rigoureuses, qu'il n'en puisse résulter des croisements. La puissance moyenne des filons de cuivre est entre 1 et 2 mètres ; cette puissance, comme celle des filons d'étain, est sujette à des renflements et à des étranglements nombreux ; leur allure est compliquée par de fréquentes divisions et bifurcations.

La richesse des filons n'est pas uniforme, même dans le sens de l'inclinaison, et l'on admet que la teneur s'accroît jusqu'à une certaine profondeur, à partir de laquelle il y a décroissance. Ainsi, dans les filons d'United-Mines, la richesse commence à 100 mètres environ, et paraît avoir suivi cette loi d'accroissement jusqu'à 4 et 500 mètres de profondeur ; à Saint-Austle, les filons, riches à la surface, se sont au contraire appauvris à 200 mètres.

Enfin, des circonstances remarquables d'enrichissement semblent liées tantôt à des croisements, tantôt à la nature des ro-

ches encaissantes. Ainsi le grand croiseur N. S., indiqué dans les environs de Gwennap (planche XII), a été regardé comme ayant enrichi tous les filons croisés et a été surnommé le père des filons ; de telle sorte que l'enrichissement semble concorder, dans les filons de cuivre comme dans ceux d'étain, non-seulement avec les croisements de filons contemporains et de même nature, mais encore avec les croisements de filons postérieurs, stériles ou plombifères.

Ce qu'on a appelé l'influence de la roche encaissante se manifeste par certaines relations entre les caractères du killas et les variations de richesse des filons. Les exploitants de Cornwall trouvent que les filons sont plus riches dans le killas de couleur blanchâtre que dans le killas rouge ou de couleur foncée. Ces variations du killas sont plutôt le résultat que la cause de l'enrichissement, mais elles n'en sont pas moins utiles par les indications locales qu'elles fournissent.

L'observation dont on peut tirer le meilleur parti est celle de la concentration des filons métallifères dans la région de contact du killas et du granite et surtout dans les parties sillonnées par des dykes d'elvan. Les filons traversent tantôt ces trois roches sans autre changement que quelques modifications d'allure ou de puissance, tantôt ils se bifurquent ou s'arrêtent subitement à l'une d'elles; d'autres fois ils ne sont riches que dans une seule de ces roches sans que le killas, le granite ou l'elvan paraissent exercer d'influence réelle et constante sur leur existence ou sur leur degré de richesse. Les influences qui ont été remarquées dans plusieurs cas sont des faits purement locaux qui ont été contredits par d'autres; en sorte qu'un filon peut être riche et développé dans l'une des trois roches, comme il peut y être pauvre ou s'y perdre. Les faits dynamiques qui ont produit les cassures sont les seuls qui paraissent avoir déterminé la concentration des substances métallifères.

Les minerais de cuivre du Cornwall sont vendus en nature et fondus dans le pays de Galles. La teneur des minerais extraits peut être évaluée de 2 1/2 à 3 1/2 pour 100; le triage ou la pré-

Digitized by Google

paration mécanique les concentre à 7 et 9 pour 100. La quantité de minerai extraite peut être évaluée à 500 000 tonnes, concentrée par les préparations mécaniques à 200 000 et contenant 8 1/2 pour 100; elles sont expédiées à Swansea au prix moyen de 150 à 200fr. la tonne.

A cette production de l'Angleterre se joint l'importation des minerais étrangers. La Bolivie, l'île de Cuba et les mines de Coquimbo au Chili, fournissent des minerais pour environ 150 000 quintaux métriques de cuivre.

Les mines de plomb d'Angleterre sont principalement concentrées dans le Cumberland, le Derbyshire, le Devonshire et le Cornwall. Dans le Devonshire et le Cornwall, ces mines consistent en filons qui traversent le schiste argileux (killas) et la grauwacke; ces filons se retrouvent dans les gneiss, le micaschiste et la grauwacke de l'Écosse et du pays de Galles, avec les caractères ordinaires. Mais, dans le Cumberland et le Derbyshire, la formation métallifère est enclavée dans les calcaires carbonifères de la partie inférieure du terrain houiller et les gisements y offrent des particularités remarquables.

Le calcaire carbonifère se compose d'alternances de couches calcaires avec des grès et des schistes analogues aux schistes houillers. Ces alternances sont fortement accidentées et souvent modifiées par les trapps appelés winstone et toadstone, lesquels se sont intercalés dans le sens de la stratification, jusqu'à trois fois dans le Derbyshire, et sur des longueurs considérables. Dans les parties métallifères de ce terrain, les mineurs distinguent trois modes de gisement : les *rake-veins* ou filons proprement dits; les *pipe-veins* et les *flat-veins* qui désignent, les premiers des amas allongés, et les seconds de véritables lits intercalés dans les couches. Les filons constituent la plus grande partie des gîtes; ils sont constamment composés de chaux carbonatée lamelleuse, de chaux fluatée, de baryte sulfatée et de quartz; les minerais contenus dans ces gangues sont la galène cubique ou grenue et la blende. La forme accidentée de ces filons leur a depuis longtemps donné de la célébrité; en traversant les

Digitized by Google

couches hétérogènes de la formation carbonifère et des trapps, ils éprouvent de nombreuses variations d'allure qui paraissent résulter du glissement des couches. Si, par exemple, le filon est vertical, les diverses parties contenues dans les couches traversées, au lieu de se suivre et d'avoir le même axe, sont dans des plans différents et leur relation est souvent indiquée par des veines horizontales. Il en résulte une structure en zigzag qui avait d'abord paru une exception aux lois qui régissent la forme des filons, mais qui n'est en réalité qu'un accident. Ces filons sont en général beaucoup plus étroits en traversant les schistes et les grès que dans les calcaires où ils sont, au contraire, puissants et continus; il y a même des cas assez nombreux où l'étranglement du filon est complet lorsqu'il traverse les grès ou les roches trappéennes. Enfin on a surtout observé que, dans les roches schisteuses, les filons étaient souvent remplis par des argiles et très-peu métallifères, tandis que les calcaires étaient le siége véritable des minerais et des gangues cristallines. Il y a donc eu, dans ces couches calcaires, une double influence qui y a favorisé l'extension des fractures et la concentration des substances métallifères. Peut-être le second fait n'est-il que la conséquence du premier.

Il résulte de ces deux conditions que les couches calcaires apparaissent, dans le Cumberland, comme le siége véritable des minerais, à l'exclusion des autres roches. Les couches supérieures ont été reconnues, en outre, comme plus riches que les couches inférieures; il en est résulté : 1° une limite supérieure de la richesse, limite indiquée par la dernière couche arénacée de la formation houillère dite millstone-grit; 2° une limite inférieure, indiquée par l'appauvrissement des gîtes, qui ne sont exploités dans la plupart des mines que jusqu'à la sixième assise calcaire de la formation, à une profondeur moyenne de 280 à 300 mètres. Entre ces deux limites il existe donc une zone horizontale métallifère d'une épaisseur moyenne de 200 mètres. Dans certaines mines, les filons ont été poursuivis beaucoup plus bas, de manière à démontrer qu'ils satisfont, malgré cette

Digitized by Google

concentration apparente, à la loi de continuité en profondeur, loi qui est une des conséquences les plus essentielles de l'origine des filons. Les gîtes horizontaux ne constituent également aucune exception et doivent être considérés comme les épanchements ou ramifications des filons entre les plans de stratification des couches traversées.

Les caractères de structure des gîtes du Derbyshire sont les mêmes que dans le Cumberland; seulement, les intercalations horizontales des trapps y sont beaucoup plus fréquentes et la plupart des filons sont limités subitement et complétement par ces roches. M. Farey a fait une statistique d'après laquelle, le nombre des mines exploitées étant de 280, il y en a seulement 19 dans lesquelles le filon se continue dans le toadstone, en changeant, il est vrai, d'allure et de structure, mais avec les mêmes caractères de composition. MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, qui ont visité plusieurs de ces mines, paraissent disposés à conclure que, dans les autres cas où l'interruption est admise, elle n'est qu'apparente et résulte du rejet et de la division du filon. Les exploitants ne peuvent avoir aucun motif pour rechercher la suite du filon ainsi appauvri dans une roche résistante, et la suppression a été admise comme générale. Cette suppression pourrait d'ailleurs s'expliquer en supposant que les trapps ont été eux-mêmes injectés entre les plans de stratification des couches postérieurement à la formation des filons. Quoi qu'il en soit, les gîtes plombifères du Cumberland et du Derbyshire, bien qu'ils aient été déjà l'objet d'observations nombreuses et intéressantes, peuvent être cités parmi ceux qui présentent encore le plus de sujets d'études.

La production du plomb est évaluée en Angleterre à plus de 600 000 quintaux métriques provenant de 900 000 quintaux de minerai lavé et préparé.

L'Angleterre produit en outre environ 100 000 quintaux de zinc, qui résultent en partie du traitement de quelques minerais calaminaires qui existent dans le Derbyshire, mais surtout du traitement de la blende. La blende se trouve en assez grande

Digitized by Google

abondance dans la plupart des gîtes de galène, et cette partie de la production anglaise est, sans aucun doute, destinée à s'accroître rapidement.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'EMPIRE RUSSE.

Les exploitations métallifères de la Russie sont rassemblées dans les monts Ourals, les monts Altaï et la Daourie, qui constitue les trois arrondissements de mines de la Sibérie, désignés sous les dénominations d'Ékatherinbourg, de Kolyvan et de Nertchinsk.

La chaîne de l'Oural, qui forme la limite de l'Europe et de l'Asie, est le plus productif de ces districts; on y exploite l'or, le platine et de riches minerais de cuivre et de fer. Ces gîtes sont principalement situés sur le versant d'Asie, suivant une ligne qui commence à Ékatherinbourg et se continue jusqu'à 4 à 500 kilomètres vers le nord. Les monts Altaï, qui séparent la Sibérie de la Tartarie, renferment les célèbres mines d'or et d'argent aurifère de Kolyvan et de Zmeof; ces mines paraissent, dans l'Altaï comme dans l'Oural, appartenir aux schistes de transition. La Daourie, contrée montueuse qui sépare le lac Baikal de l'océan Oriental, renferme surtout d'abondantes mines de galène argentifère contenues dans des calcaires métamorphiques.

Le lavage des sables aurifères prend chaque année de nouveaux développements en Russie. La production était en 1841 :

Mines de l'Oural.	4 750 kilogrammes.
Mines de la Sibérie orientale. .	6 400
	11 150

Depuis cette époque, la production a toujours augmenté, et elle atteint aujourd'hui le chiffre de 20 000 kilogrammes.

Presque tous les sables aurifères contiennent un peu de pla-

Digitized by Google

tine, mais ce métal est principalement concentré dans les sables de Nijni-Taguilsk, qui fournissent 1900 kilogrammes sur environ 2000 qui sont produits par l'ensemble des lavages.

Le lavage des sables aurifères fournit presque tout l'or produit par la Russie. Dans l'Oural, la région des sables aurifères s'étend du S. O. au N. E. sur une longueur de 50 kilomètres environ, entre les rivières Atlian, Miass et Ouï. Les couches de ce sable sont assez ordinairement recouvertes par des couches stériles de quelques mètres d'épaisseur, formées surtout d'argile et d'alluvions tourbeuses. Quant à leur composition, elle consiste en conglomérats composés de roches anciennes, telles que granites, syénites, gneiss, quartz et schistes, réunis par une argile ocreuse et un sable quartzeux. Les gros fragments sont triés et rejetés, et toute la masse argileuse est ensuite passée sur des cribles formés de barres dont l'écartement est de deux centimètres au plus : ce qui ne passe pas à travers le crible est encore rejeté. L'or se trouve disséminé en particules, en paillettes et filaments, en pépites arrondies et aplaties dans le sable argileux le plus fin, qui sert ainsi de ciment aux roches de transport, et qui, étant concentré par le lavage, reste composé de quartz cristallin, de jaspe, de fer oligiste et de fer magnétique.

Ces sables aurifères ne sont pas continus; ils sont divisés, par les saillies des roches encaissantes, en lambeaux allongés qui ont depuis 50 jusqu'à 500 mètres de longueur, et lorsque, par exception, ils atteignent plusieurs kilomètres de longueur continue, ainsi que cela arrive dans les lits des ruisseaux de Miasta et de Tach-Koutargan, la teneur aurifère n'est pas homogène et les parties riches y forment des îlots isolés. La largeur est ordinairement comprise entre 10 et 60 mètres. Enfin l'épaisseur varie de $0^m,70$ à 2 mètres.

Les sables aurifères occupent rarement toute la largeur des vallées; ils n'existent que dans la partie la plus basse et s'amincissent à mesure qu'ils s'en éloignent.

La composition de ces sables démontre qu'ils doivent leurs principes métallifères à la destruction des gîtes en place. On

trouve en effet dans la chaîne plusieurs de ces gîtes dont les sables contiennent non-seulement les minerais, mais aussi les gangues. Aussi, bien avant que l'or et le platine, concentrés par les opérations de lavage, puissent être très-apparents, on reconnait le fer oxydulé, la pyrite de fer, le fer chromaté, le rutile, l'anatase, la pyrite cuivreuse et quelquefois même le cinabre et la galène. Outre les gangues de quartz cristallin, on trouve également de la dolomie, du spath magnésifère, de l'amphibole, de l'épidote, du grenat, du corindon, annexes constantes de l'or dans les gîtes en place.

Ce sont donc les eaux diluviennes qui, par leur action érosive, ont désagrégé, roulé et broyé ces gangues, en ont isolé l'or, et ont rendu exploitables, sous cette nouvelle forme d'alluvions, des gîtes qui seraient restés sans valeur sous leur forme première.

Un seul des gîtes en place est exploité, c'est le filon de Berezow. L'or y est engagé dans un quartz chargé d'oxydes de fer et de pyrites; souvent le groupement de ces trois substances est tel, qu'on est conduit à penser que l'or, d'abord engagé dans les pyrites, n'a été isolé que par leur décomposition. On retire de cette mine environ 80 kilogrammes d'or par année.

Les ingénieurs russes ont fait des observations intéressantes sur le gisement des sables aurifères. Ils ont remarqué qu'ils reposaient rarement sur le granite ou sur la syénite, mais plus ordinairement sur les roches schisteuses, dans le voisinage des serpentines et des roches amphiboliques. Cette loi les a conduits à considérer l'or comme ayant son gisement principal dans le quartz ferrugineux des couches schisteuses métamorphiques, en relation de contact ou de voisinage avec les serpentines et les diorites. Quant à leur distribution géographique, les sables aurifères existent principalement sur les derniers versants, en forme de plateaux qui longent et terminent la chaîne; ils apparaissent donc, sous le double rapport de leur distribution et des matières constituantes, comme résultat d'un phénomène diluvien général qui a affecté l'ensemble de la contrée.

Digitized by Google

C'est en 1814 que furent découverts les sables aurifères de l'Oural, et ce fut en 1823 que l'exploitation prit quelque activité. Depuis cette époque jusqu'en 1836, on a lavé dans les divers arrondissements de l'Oural :

	Sables lavés.		Or obtenu.
Ékaterinbourg.	1 825 000	tonneaux.	5 872 kilog.
Goroblogodat.	273 000		632
Bogoslovsk.	860 000		5 318
Zlataoust.	3 376 000		10 059
Mines de particuliers. . . .	18 245 000		37 056
	24 579 000		58 937

ce qui met la loi ou teneur des sables lavés, par chaque tonne à :

$0^{k},0327$	Ékaterinbourg.	$0^{k},0630$	Bogoslovsk.
0 ,0235	Goroblogodat.	0 ,0407	Zlataoust.

et pour les mines des particuliers à $0^{kil},033$ d'or par tonne de sable lavé.

Dans l'Altaï, les exploitations datent seulement de 1830. Jusqu'en 1835, on avait lavé 282,000 tonnes de sables qui avaient produit 676 kilog. d'or, ce qui met la teneur à 0,0245 d'or par tonne.

Ces proportions ne s'appliquent qu'aux sables déjà criblés et préparés qui ont été transportés aux ateliers de lavage, et non à l'ensemble des roches abattues. La teneur véritable nous est donnée par le mouvement des ateliers de Miassk qui opèrent sur des sables argileux dont toute la masse est à peu près soumise au lavage. Depuis 1823, la teneur ordinaire a été de 8 grammes par tonne, le minimum de la moyenne ayant été en 1833 de 4 grammes. En résumé, les sables apportés contiennent depuis 17 grammes jusqu'au-dessous de 2 grammes par tonne; mais on considère cette dernière proportion comme ne donnant lieu à aucun bénéfice. Les ateliers de Miassk opèrent annuellement sur environ 210,000 tonnes, et en retirent au minimum 830 kilogrammes d'or.

Digitized by Google

Les monts Ourals renferment les principales mines de cuivre de la Russie, dont les plus productives sont celles de Tourinsk et de Nijni-Tanguilsk. L'abondance, dans ces gîtes, des carbonates, des oxydes de cuivre et du cuivre natif, donne à leurs produits une pureté remarquable : on a trouvé, par exemple, à Nijni-Tanguilsk un bloc de malachite pesant plus de 40 tonneaux. Comme gisement, il est à remarquer que les minerais de cuivre sont souvent au contact du calcaire et des trapps (mine de Bogoslovsk) ; ils appartiennent probablement à la classe des gîtes irréguliers et de contact.

Les mines d'argent et de plomb de l'Altaï paraissent, ainsi que les mines de cuivre, appartenir à la classe des gîtes de contact. Les principales, celles de Kolyvan, sont représentées par les ingénieurs russes comme des amas stratifiés, placés entre les couches métamorphiques et des porphyres qui les pénètrent. Les minerais des parties supérieures des gîtes sont des terres ocreuses, argentifères et aurifères, mélangées de carbonate de plomb. A mesure qu'on descend en profondeur, ces substances sont remplacées par des sulfures : il en est de même des gîtes de cuivre, riches en carbonates, oxydes et cuivre natif vers les affleurements, et exclusivement composés de cuivre pyriteux ou panaché dans leurs parties inférieures. Il paraît même que, comme ces gîtes s'appauvrissent très-souvent, les travaux ne sont poussés qu'à des profondeurs peu considérables ; de sorte qu'on les a souvent regardés comme limités dans tous les sens et formant de véritables amas.

Ainsi le gîte de Zyrianofsk, le plus productif de l'arrondissement, nous est représenté comme enclavé dans les schistes talco-chloriteux : sa longueur en direction est de 160 mètres ; sa puissance varie de 3 à 14 ; on l'a exploré jusqu'à 55 mètres de profondeur. A sa base, ce gîte se divise en deux branches, et la roche qui les sépare est tellement cristalline, qu'elle a l'apparence du porphyre. La masse du filon est composée de quartz servant de gangue, dans la partie supérieure, à des minerais ocreux, et, dans la partie inférieure, à des minerais sulfurés ; en

certains points, l'abondance de ces minerais est telle, qu'ils éliminent complétement la gangue quartzeuse. La galène argentifère, les pyrites de cuivre et de fer, le cuivre gris argentifère, la blende, sont les minerais sulfurés; le carbonate de plomb, les carbonates de cuivre, l'hydroxyde de fer, constituent les minerais ocreux. Les minerais pénètrent quelquefois les schistes du toit et du mur. Le niveau moyen de la transformation des minerais est à environ 30 mètres des affleurements. Cette mine produit annuellement 6 à 7000 tonnes de minerais, qui rendent 8000 quintaux métriques de plomb, 3000 de cuivre et 700 kilogrammes d'argent.

Dans un grand nombre de ces mines de Kolyvan, tous les minerais sont mélangés, et le mélange est quelquefois si intime, que le triage en est impossible. Cependant les gîtes de cuivre ont, dans le district, une tendance à s'isoler des gîtes d'argent.

Les mines de plomb argentifère de l'arrondissement de Nertchinsk traversent des alternances de calcaires, de schistes et de grauwackes, et, comme en Angleterre, la distribution des minerais est tellement irrégulière, que beaucoup de gîtes sont considérés comme épuisés. Ces mines ne produisent que 3 à 4000 kilogrammes d'argent; le complément du chiffre total de 16 000 kilogrammes que produit la Russie est fourni par les mines de l'Altaï.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE LA FRANCE.

Si l'on applique à la constitution géologique de la France les principes généraux que nous avons énoncés sur la distribution des gîtes métallifères, on voit tout d'abord que ces gîtes ne peuvent être rationnellement cherchés que dans cinq districts composés de roches de transition et accidentés par les roches ignées des diverses périodes géognostiques. Ces cinq districts sont : 1° la *pointe de Bretagne*, limitée par une ligne qui part du Co-

tentin, passe près d'Alençon, d'Angers, et se termine vers Parthenay; 2° le *massif des Vosges*, s'élevant comme une île au milieu des terrains sédimentaires; 3° le massif qui constitue le vaste *plateau de la France centrale*, et comprend l'Auvergne, le Limousin, le Forez, le Velay, le Vivarais, la Lozère et les Cévennes; 4° la *chaîne des Pyrénées;* 5° les *Alpes*. C'est en effet seulement dans ces contrées, qui constituent les régions élevées de la France, et vers les contacts des roches granitiques et porphyriques, soit avec les roches schisteuses anciennes, soit avec les terrains secondaires métamorphiques et accidentés, que trouvent les gîtes connus jusqu'à présent.

L'importance de ces gîtes ne répond pas à l'étendue des cinq districts; ce n'est pas qu'ils soient rares ou peu puissants, mais leur richesse est assez généralement au-dessous de celle des gîtes de même nature exploités dans les pays voisins. Néanmoins le développement de notre industrie a compensé en quelques points cette infériorité générale, et plusieurs mines ont pu résister aux concurrences extérieures. Nous entrerons donc dans quelques détails, non-seulement sur les gîtes actuellement exploités, mais aussi sur ceux qui nous semblent offrir quelques chances de reprise pour l'avenir.

Le massif de la *Bretagne* présente les plus grandes analogies de configuration et de composition avec le Cornwall. C'est une contrée montueuse, quoique généralement peu élevée au-dessus du niveau de la mer, composée de schistes de transition dont beaucoup se rapprochent du killas, accidentée par des granites, par des porphyres analogues à l'elvan et par des roches serpentineuses identiques à celles du cap Lisard. Malgré ces analogies de composition, les gîtes métallifères n'ont pas la même importance en Bretagne qu'en Cornwall; les filons d'étain y sont à peine représentés, ceux de cuivre n'existent plus, et l'on n'y trouve que des gîtes de galène argentifère et de blende qui peuvent être assimilés aux filons qui existent en Cornwall à l'est de Truro.

L'oxyde d'étain a principalement été signalé sur deux points.

Le premier est la côte de Pyriac, à 4 kilomètres N. O. de l'embouchure de la Loire; le killas y est en contact avec le granite, et le point de réunion des deux terrains est formé d'alternances de roches schisteuses et granitoïdes que M. Dufrénoy dénomme formation de granite et gneiss. C'est cette formation qui contient l'oxyde d'étain, soit en petits rognons disséminés, soit en petits filons à gangues de quartz : ce qui explique l'existence des sables stannifères que l'on trouve au nord de Pyriac vers l'embouchure de la Vilaine, tandis qu'au sud, où la côte est exclusivement granitique, il n'en existe pas. Des recherches ont eu lieu sur cette côte en 1818, mais elles n'ont pas conduit à un gîte régulier et exploitable, quoiqu'elles aient produit environ 10 quintaux d'étain. Néanmoins M. Dufrénoy a justement remarqué que les recherches, dirigées trop du côté du granite et pas assez vers le killas, n'auraient pas dû être bornées à l'exploration des côtes.

Le moulin de la Villeder, près le roc Saint-André, dans le Morbihan, est le second point sur lequel se montre un filon de quartz stannifère; il est encaissé dans le granite. Sa direction N. 34° O. concorde assez bien avec la direction générale des filons du Cornwall. Le quartz prend une teinte verdâtre dans les parties stannifères; il contient du fer arsenical, de la topaze et de l'émeraude. Ces deux gîtes, exploitables ou non, établissent d'une manière complète l'analogie géognostique des deux contrées, d'autant plus qu'il existe sur beaucoup de points des alluvions stannifères. Dans la Bretagne, plus qu'en Cornwal, la généralité de la végétation est un obstacle constant aux explorations et aux recherches de mines.

La seconde époque métallifère du Cornwall, celle des filons cuprifères, ne paraît pas, jusqu'à présent, reproduite en Bretagne; mais la troisième est représentée sur une échelle assez large, par des filons puissants, dont le minerai principal est la galène plus ou moins argentifère, et dont les minerais annexes sont : le plomb carbonaté et phosphaté, des terres ocreuses argentifères et la blende. Les plus riches de ces filons sont situés

Digitized by Google

près de Morlaix, à Poullaouen et à Huelgoat où l'on a fait exécuter des travaux considérables. Le filon de Poullaouen 22°, dirigé du N. O. au S. 22° E., coupe les couches de grauwacke en plongeant de 45° vers le N. E.; sa direction a été suivie par les travaux souterrains sur une longueur de 1500 mètres, et son inclinaison jusqu'à une profondeur verticale de 250 mètres. Ce filon est très-ramifié, et on a exploré jusqu'à cinq de ses branches dont la puissance est de 3 à 5 mètres; la somme des écartements du terrain est donc de 15 à 20 mètres. Les roches encaissantes sont en très-grande proportion dans le filon, qui, en certains points, a l'apparence d'un filon en stocwerk. On a reconnu près de là quelques filons de composition analogue, et, dans les schistes argileux d'Huelgoat, on exploite un filon puissant qui a été reconnu sur 1000 mètres de direction et 270 mètres de profondeur. Ce filon plonge de 70° vers le N. E. et donne aujourd'hui des produits supérieurs à ceux de Poullaouen, car on y trouve non-seulement la galène argentifère, mais encore des terres rouges et ocreuses contenant $\frac{1}{1000}$ d'argent à l'état natif et à l'état de chlorure. Le produit annuel de ces mines est de 3000 quintaux métriques de plomb et 1400 kil. d'argent.

A Pontpéan, près Rennes, un filon contenant de la galène argentifère mélangée de blende a été exploité jusqu'à la profondeur de 150 mètres, sur environ 300 mètres de direction. Ce filon, incliné à 80°, est dirigé N. S. Vers la fin du dix-huitième siècle, il produisait, année commune, 7000 quintaux métriques de galène argentifère; la blende, en quantité supérieure à la galène, servait à remblayer les galeries; l'exploitation a été abandonnée à cause des difficultés que présentait l'épuisement des eaux.

Il existe encore des filons de galène argentifère à Châtelaudren, près de Saint-Brieuc; ils ont été abandonnés depuis 1790 par suite d'un appauvrissement en profondeur. Quant aux autres gîtes plombifères connus sur plusieurs points de cette vaste superficie de transition, il ne paraît pas qu'aucun d'eux ait assez d'importance pour donner lieu à quelque chance de reprise.

Digitized by Google

Les principaux gîtes métallifères connus et non exploités dans ce premier district sont :

Manche. Mine de mercure au Menildot commune de la Chapelle-en-Suger; elle a été exploitée à trois reprises dans le siècle dernier, et a donné des produits notables de 1730 à 1742. Mines de galène argentifère, blende et calamine, sur plusieurs points de la Pointe du Cotentin, notamment à Pierreville, exploitées de 1788 à 1790.

Loire-Inférieure. Mine d'étain à Pyriac, sur le bord de la mer. Recherches de 1819 à 1827.

Ille-et-Vilaine. Filon de galène argentifère et blende, cité à Pontpéan. Abandon de la concession en 1796.

Côtes-du-Nord. Filon de galène argentifère à Châtelaudren. Abandon de la concession en 1790.

Vendée. Mine d'antimoine à la Ramée, commune de Bonpère. La renonciation du concessionnaire est de 1818.

Deux-Sèvres. Mines de galène argentifère à Melle et aux environs; il y existe d'immenses travaux dont la date n'est pas connue.

Le *massif des Vosges* est de tous les districts métallifères de France celui qui pourrait présenter le plus de chance à des travaux de reprise. Les gîtes de plomb argentifère, à la fois nombreux et puissants, y forment le trait principal de la richesse métallique. Ces gîtes, ouverts de temps immémorial, fournissaient encore des produits considérables dans le courant du siècle dernier; ils sont aujourd'hui presque tous abandonnés par suite de l'envahissement des eaux, et l'on ne pourrait y rentrer avec profit qu'après des dépenses assez considérables. Lorsque la facilité des premières exploitations donnait lieu à de grands bénéfices, une partie de ces bénéfices, placée chaque année en travaux de prévoyance, eût assuré l'avenir de ces mines; mais aujourd'hui presque toutes les exploitations de France n'existent plus que pour accuser les fautes du passé. Que l'on suppose ce district des Vosges entre les mains des populations du Harz ou de la Saxe, et sans aucun doute il eût été maintenu en exploitation, car les gîtes métallifères de l'Allemagne n'ont actuellement de valeur que par l'aménagement intelligent qui les soutient depuis des siècles.

Les environs de Sainte-Marie-aux-Mines renferment un grand nombre de filons de galène argentifère, dont le principal est celui de Lacroix, célèbre par sa puissance, qui est de 20 mètres, et par des exploitations de plusieurs siècles poussées sur une étendue de plus de 4 kilomètres. Ce filon de Lacroix-aux-Mines traverse la montagne de Saint-Jean à 16 kilomètres de Sainte-Marie; il court N. S., inclinant un peu à l'est, à peu près parallèlement à la jonction du gneiss et de la montagne de syénite qui le sépare des filons de Sainte-Marie. La masse du filon est principalement formée de débris de toute espèce et le minerai y affecte des allures très-variables; tantôt disséminé en veines de $0^m,10$ à $0^m,20$ et jusqu'à 1 mètre de puissance, qui soudent ces débris entre eux, les traversent et forment ainsi une sorte de stocwerk; d'autres fois, rassemblé en nœuds et en amas. Ce minerai consiste en galène argentifère et en plusieurs minerais annexes, tels que le phosphate de plomb, l'argent rouge, l'argent natif : la galène contient en moyenne $\frac{1}{1000}$ d'argent. Les travaux réguliers, suivis par une galerie jusqu'à la limite de l'écoulement naturel des eaux, n'ont été poussés qu'à une faible profondeur au-dessous des vallons voisins. Ce filon a eu des périodes extrêmement productives; on a trouvé beaucoup d'argent natif dans sa partie supérieure; on en a cité des morceaux de 30 kilogrammes et au delà. En 1756 il fournissait encore 12000 quintaux métriques de plomb et 1460 kilogrammes d'argent.

Près de Sainte-Marie, les filons de galène argentifère sont nombreux, mais moins puissants; ils traversent les gneiss, et leur direction E. O. incline un peu au nord. Deux d'entre eux ont été exploités sur une grande longueur; ce sont ceux de Surlatte et de l'Espérance. Le filon de Surlatte a présenté une bifurcation remarquable en deux branches qui, après avoir longtemps couru parallèlement, ont fini par se rejoindre. La galène y est moins riche qu'à Lacroix, les schlicks ne contiennent guère que $\frac{1}{1000}$ d'argent.

Sur la croupe méridionale des Vosges, Giromagny est un autre centre de filons métallifères qui ont été l'objet d'exploita-

Digitized by Google

tions actives, puis abandonnées, et sont actuellement reprises. Ces filons traversent, suivant la direction N. S., des schistes argileux et des porphyres.

A Saint-Jean-d'Auxel, il existe un faisceau de trois filons, courant l'un sur midi, le second vers onze heures, le troisième vers dix, dont la gangue est de quartz et de chaux carbonatée tenant de la galène argentifère disséminée. Les travaux ont été très-considérables en ce point, et étagés sur une hauteur de 800 mètres; ils étaient encore ouverts en 1779.

Les filons continuent à se montrer tant que les syénites et les porphyres sont visibles. A Plancher-les-Mines, à Fresse, à Ternuay, dans la Haute-Saône, on connait dix filons à gangues de quartz, de chaux carbonatée et de chaux fluatée, contenant, outre la galène argentifère, du cuivre gris et des pyrites. Ces minerais sont disséminés dans les gangues par bouillons et colonnes, disait Gensanne, qui les a exploités le dernier.

L'ensemble du massif des Vosges présente donc deux systèmes de filons : l'un, dirigé N. S., comprend les principaux filons de galène argentifère; l'autre, dirigé à peu près E. O., comprend, outre des filons de galène, un grand nombre de filons à gangues de quartz, chaux carbonatée et spath-fluor, caractérisés, comme minerais, par le cuivre gris, la galène argentifère, l'argent sulfuré, le cobalt arsenical, l'arsenic natif et des pyrites quelquefois aurifères. Ces filons, dont le cuivre gris forme le trait principal, sont liés aux mêmes roches que les premiers; il est à remarquer cependant que, dans le groupe central où les granites et les syénites dominent, les filons se rattachent plus ordinairement au premier système, tandis que, vers la lisière des montagnes, là où les porphyres et les diorites se montrent prédominants, les filons cuprifères dominent ceux de galène. C'est ce qui a lieu pour les filons métallifères de Giromagny.

La liaison fréquente de ces deux systèmes de filons paraît se rattacher à une sorte de contemporanéité des différentes émanations métallifères. Ainsi, de même qu'à la limite de deux formations géognostiques différentes on remarque très-souvent

Digitized by Google

des alternances entre les couches caractéristiques de ces deux formations; de même, on voit une sorte d'alternance et d'oscillation entre les filons de cuivre gris argentifère des Vosges et les filons de galène. Il existe donc des filons mixtes, contenant à la fois du cuivre gris et de la galène de telle sorte qu'on ne saurait dire auquel des deux systèmes ils doivent être assimilés de préférence. Les mêmes rapprochements existent entre les roches cristallines liées à l'existence des filons métallifères : les relations qui unissent entre eux les filons cuprifères et plombifères se retrouvent entre les syénites porphyroïdes ou granitoïdes de Sainte-Marie, et les porphyres feldspathiques ou amphiboliques de Plancher-les-Mines, Giromagny, Ternuay, etc.

Le cuivre gris argentifère constitue, dans le district de Sainte-Marie-aux-Mines, le filon de Phaunoux, qui a été très-suivi en même temps que les filons de galène de Surlatte et de l'Espérance; le cuivre gris y était accompagné de cobalt arsenical et d'arsenic natif testacé dont on tirait également parti. Ce filon de Phaunoux fait, ainsi que les filons de Surlatte et de l'Espérance, partie de ceux qui suivent la direction E. O.

A Giromagny, les filons de Selschaft, Saint-Martin, Sainte-Barbe et Saint-Urbain présentaient de la mine à bocard composée de cuivre gris argentifère, sulfure d'argent et galène; à Saint-Daniel, situé au revers de la montagne d'Auxelle, du côté qui regarde Giromagny, les schlicks qui provenaient de ces minerais rendaient au traitement, en 1780, 18 livres de cuivre, 3 et 4 onces d'argent et une petite quantité de plomb. Les montagnes qui séparent Plancher-les-Mines de Giromagny sont entrelacées d'un nombre considérable de filons qui les traversent en tous sens et qui tous contiennent du cuivre, du plomb et de l'argent.

Le massif des Vosges renferme encore un assez grand nombre de mines de fer dont le gisement se rapporte à la classe des gîtes particuliers. Le principal de ces gîtes est contenu dans la montagne de Framont, vers le contact d'une masse porphyrique centrale avec les couches de schistes et de calcaire que cette masse a fortement relevées. Dans cette position, le peroxyde

Digitized by Google

rouge de fer, mélangé de fer oligiste cristallin, forme un véritable filon de contact de 3 à 10 mètres de puissance, et dont la direction contourne le porphyre. En étudiant les profondes excavations qui ont été faites dans ce gîte, on ne peut s'empêcher de le considérer comme une véritable cheminée remplie par des émanations métallifères qui ont pénétré les roches en contact et qui y ont intercalé des minerais par des phénomènes analogues à ceux que nous avons signalés à l'île d'Elbe. Pour compléter l'analogie, les calcaires traversés par le minerai sont transformés en marbres cristallins, et passent même aux dolomies grenues et cristallines.

Sur beaucoup d'autres points que ceux que nous avons mentionnés, le massif des Vosges contient encore des gîtes métallifères; ceux qui pourraient être repris avec quelque chance de réussite sont :

Moselle. Mine de plomb de Saint-Avold. Communes de Saint-Avold, de Hargarten-aux-Mines et Falck. (Les travaux considérables auxquels ces mines ont anciennement donné lieu ont été repris quelque temps avant la Révolution, et abandonnés faute de bénéfices. Les anciens travaux sont à sec et parfaitement conservés.)

Mines de cuivre. Commune de Longeville. (On ignore l'époque de l'abandon. On y a fait, il y a quelques années, des recherches qui n'ont pas eu de suite.)

Mine de cuivre commune de Falck. (Abandonnée depuis longtemps.)

Bas-Rhin. Mine de cuivre et d'argent de la Goutte-du-Moulin. Commune d'Urbeis. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de cuivre du château du Champ-Brècheté. Même commune. (Abandonnée de temps immémorial. Travaux fort étendus.)

Mine de cuivre et plomb des Coltes. Même commune. (Abandonnée de temps immémorial. Travaux qui paraissent avoir eu peu d'extension.)

Mine de plomb de la Goutte-Henri. Même commune. (Abandonnée de temps immémorial. Reprise en 1780. Abandonnée deux ans après, faute de capitaux. Travaux peu étendus.)

Mine d'argent d'Aptaingoutte. Même commune. (Abandonnée depuis très-longtemps. Filon puissant, mais très-pauvre.)

Mine de cuivre, plomb et argent de Saint-Nicolas. Même commune. (Abandon très-ancien. Reprise en 1780. Abandonnée deux ans après.)

Mine de plomb de la Chapelle. Même commune. (Abandon très-ancien. Reprise en 1780. Abandonnée deux ans après.)

Mine d'antimoine. Commune de Charpe. (Reprise et abandonnée plusieurs fois jusqu'en 1805.)

Mine de plomb et argent. Commune de Delalaye.

Mine de plomb du chemin de Charpe. (Abandonnée il y a environ trente ans, faute de capitaux.)

Mine de plomb et argent. Commune de Tiembach. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de manganèse. Même commune. (Abandonnée depuis environ vingt ans. Elle était exploitée par des paysans.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Borsch. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de plomb et argent. Commune d'Orschewiller. (L'époque de l'abandon est inconnue. Travaux peu étendus.)

Mine de plomb et argent de Jœgerthal. Commune de Niederbronn. (Ouverte et abandonnée à plusieurs reprises jusqu'en 1824.)

Vosges. Mines de cuivre. Commune de Bussang. (Une partie de ces mines est vierge, l'autre a été très-anciennement exploitée. On voit encore les vestiges d'une ancienne galerie d'écoulement.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Tillot. (Exploitation longue et considérable qui a fini en 1761, faute de moyens d'épuisement. Susceptible d'être reprise, suivant les avis donnés en 1785 par plusieurs ingénieurs.)

Mide de plomb, cuivre et argent. Commune de Rememont. (Exploitée fort anciennement pour le compte des ducs de Lorraine. On y a fait, en 1755, quelques recherches qui n'ont pas eu de suite.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Lubine. (Les haldes annoncent une exploitation notable. L'abandon a eu lieu dans le milieu du siècle dernier.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Fresse. (Abandonnée en 1734 à cause de l'abondance des eaux.)

Mine de plomb et cuivre. Commune de Fresse. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de cuivre. Commune de Saint-Maurice. (Abandonnée en 1761; on en ignore la cause.)

Mine de plomb, zinc, cuivre et argent. Commune de Lusse. (Abandonnée de temps immémorial.

Mine de plomb, cuivre et argent. Commune de Gernaingouttes. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Wildersbach. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de cuivre du haut Perheux. Même commune. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de manganèse. Même commune. (Reprise il y a environ deux ans et abandonnée peu de temps après à cause de l'affluence des eaux.)

Haut-Rhin. Mines de cuivre, plomb et argent de Giromagny, du Puits et d'Auxelle. Communes de Giromagny, du Puits et d'Auxelle. (Elles offrent 43 filons. L'exploitation a eu trois époques très-florissantes, savoir : au quatorzième siècle, au seizième et au commencement du dix-huitième. L'abandon a eu lieu en 1791; la concession vient d'être reprise de nouveau.)

Mines de cuivre, plomb et argent de la vallée de Saint-Amarin. Communes de

Digitized by Google

Saint-Amarin, Orbé et Mosch. (Abandonnées en 1760. Anciennement productives. La plupart des travaux, étant en roche très-dure, sont conservés.)

Mine de plomb, cuivre et argent de Silberthal. Commune de Steinbach. (Abandonnée vers 1750.)

Mines de cuivre et argent de la vallée de Sultzmatt. Commune d'Osenbach. (Depuis très-longtemps abandonnées. Reprises en 1750 et abandonnées peu de temps après, faute de capitaux.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Munster. (Abandonnée au commencement du dix-huitième siècle.)

Haute-Saône. Mines de plomb, cuivre et argent. Commune de Plancher-les-Mines. Elles se composent de sept filons qui ont été exploités longtemps avec bénéfice. (L'abandon a eu lieu en 1760.)

Mine de cuivre. Commune de Château-Lambert. (Abandonnée en 1758, par suite de travaux mal conçus. Elle avait été anciennement productive.)

Mine de plomb du Baudy. Commune de Château-Lambert. (L'époque de l'abandon est inconnue. On a voulu la reprendre, il y a une soixantaine d'années, au moyen d'une galerie d'écoulement qui n'a point été achevée, mais qui a été poussée très-avant.)

Mine de plomb. Commune de Faucogney. (Ouverte en 1755 et abandonnée quelques années après.)

Mine de plomb. Commune de Saint-Bresson. (L'époque de l'abandon est inconnue. Elle a été momentanément reprise il y a environ 70 ans.)

Mine de cuivre, plomb et argent. Communes de Tannay et de Vannes. (L'époque de l'abandon est inconnue. Elle a été momentanément reprise il y a environ 70 ans.)

Mine de manganèse de Chauvillerain. Commune de Faucogney. (Abandonnée il y a environ 20 ans.)

Le *plateau de la France centrale*, massif de terrain schisteux et granitique qui domine le centre de la France et comprend les montagnes du Forez, de l'Auvergne, des Cévennes et de la Lozère, renferme un très-grand nombre de filons de galène argentifère. Beaucoup de ces filons ont été exploités et deux centres d'extraction subsistent encore : l'un à Pont-Gibaud, dans le département du Puy-de-Dôme; l'autre à Vialas et Villefort, dans le Gard.

Les principaux filons exploités autour de Pont-Gibaud sont contenus dans un terrain de stéachistes et de micaschistes; leur puissance moyenne est d'un mètre. M. Fournet, qui a longtemps dirigé les travaux dont ils sont l'objet, a fait ressortir dans plusieurs mémoires leur direction N. S., remarquable en

Digitized by Google

ce qu'elle concorde avec la direction de tous les accidents du sol dans la contrée. Ainsi le soulèvement granitique qui domine Clermont suit une direction N. S., direction à laquelle sont également assujetties les éruptions trachytiques qui forment le Cantal, les monts Dores et les monts Domitiques, les éruptions des volcans laviques qui forment la chaîne des Puys, enfin, tous les filons métallifères de la contrée.

La série de ces filons, qui comprend aussi plusieurs époques, commence aux exploitations d'antimoine d'Engle, se continue par des filons cuprifères parallèles signalés par M. Fournet au pied de la montagne de Bauson, par les filons de galène argentifère qui ont été exploités à Roure, Rosier, Mioche, Blot-l'Église, et par ceux de Pranal, Barbecot, de Combrès, etc., qui suivent également la même direction N. S. Cette coïncidence de direction dans tous les accidents du sol qui ont été produits à des époques diverses, soit par soulèvement, soit par émission de roches ignées, soit par cassures et émanations métallifères, est un des faits les plus remarquables de la géologie de cette contrée.

Les filons de l'Auvergne présentent encore une association remarquable avec des porphyres identiques aux porphyres métallifères de tant d'autres régions. Ces porphyres se retrouvent constamment le long de la zone métallifère; ils traversent les granites et les schistes sous forme de dykes qui marchent avec les filons. Un des filons de Pranal a pour épontes, d'un côté le micaschiste, de l'autre le porphyre; fait qui indique l'antériorité de ces porphyres, qui sont, en effet, croisés plusieurs fois par les filons avec lesquels ils marchent.

Les filons de cette contree ont pour gangue principale des débris du toit et du mur, des matières argileuses et le sulfate de baryte; la galène y est à petites facettes, et contient de $\frac{1}{1000}$ à $\frac{2}{1000}$ d'argent. On y rencontre quelques substances subordonnées, telles que le plomb carbonaté et phosphaté, la blende, la bournonite.

Beaucoup d'autres filons de galène argentifère existent en

Digitized by Google

Auvergne, et les montagnes d'Ambert, qui dominent à l'ouest la petite vallée de la Dore, en renferment qui ont donné lieu à des travaux d'exploitation. A Saint-Amand-Roche-Savine, à Giroux près Olliergue, les filons présentent une composition analogue à celle des filons du Pont-Gibaud; la galène y est un peu moins riche, mais elle est assez abondante, et les gangues sont d'un abatage facile. Plus au sud, dans les montagnes qui dominent Jumeaux et dont le suc d'Esteil forme la cime principale, se trouvent un grand nombre de filons à gangue uniquement quartzeuse, souvent améthysée, contenant la galène à facettes très-fines qui contient jusqu'à $\frac{3}{1000}$ d'argent. Mais cette galène est extrêmement disséminée, et la dureté du quartz en rend l'exploitation coûteuse.

Les mines de Vialas et de Villefort contiennent une douzaine de filons dont les directions différentes annoncent plusieurs époques de formation. Ces filons sont réunis en faisceau au contact du gneiss et du granite; l'ensemble du terrain métallifère fait partie du manteau de gneiss et micaschiste qui entoure les sommités granitiques du mont Lozère. Les gangues des filons sont le quartz, la chaux carbonatée et la baryte sulfatée; la galène argentifère y est disséminée en rognons, mélangée de pyrite cuivreuse et de blende.

Dans l'ensemble de cette contrée, la classe des filons antimonifères paraît très-distincte par son âge et sa composition. Elle est représentée par des filons à gangues quartzeuses, dont la puissance dépasse rarement un mètre, et dans lesquels le sulfure d'antimoine se montre seul comme minerai. Ces filons s'isolent en outre par des directions et des inclinaisons spéciales. Leur composition est simple; le minerai y est accumulé en veines, nodules cristallins, druses, etc., plutôt que disséminé; les minerais associés, qui sont principalement des oxydes d'antimoine, paraissent y résulter d'épigénies postérieures à leur formation.

Les filons des Cévennes se trouvent presque toujours dans le terrain de gneiss et de schistes qui recouvre les masses grani-

Digitized by Google

tiques formant les points culminants de la contrée. C'est vers ses contacts avec les roches ignées que le terrain schisteux devient métallifère; ce fait déjà signalé pour le groupe des filons de galène de Vialas et Villefort, existe également pour les filons antimonifères qui se montrent à Malbosc et Bordezac (Ardèche). Ces filons sont composés de quartz; quelquefois ils contiennent de la chaux carbonatée, rarement du sulfate de baryte; leurs salbandes sont argileuses. Ils se dirigent à peu près E. O., inclinant de 25° à l'est. L'antimoine sulfuré s'y montre en veines compactes ou filets suivis, ayant moyennement $0^m,10$ d'épaisseur : cette épaisseur est variable dans le même filon, et elle atteint, dans un des trois qui sont exploités, jusqu'à $0^m,30$. On y trouve aussi l'antimoine oxydé par taches fibreuses, rayonnées.

Depuis quelques années, plusieurs filons de l'Aveyron ont été l'objet de travaux de reprise; M. Fournet a fait une étude spéciale de cette formation et a distingué : 1° les filons anciens qui paraissent liés aux porphyres et sont caractérisés par des galènes à fines facettes, très-argentifères, et par des quartz saccharoïdes; les autres gangues ou minerais, tels que la baryte sulfatée, la chaux carbonatée, le fer spathique, le cuivre pyriteux et la bournonite, étant de simples accidents; 2° des filons plus modernes qui se rapportent aux serpentines de Najac et de Milhau, et sont caractérisés soit par des quartz hyalins un peu gras, des carbonates de fer et de chaux, des galènes moins riches que les précédentes, du cuivre pyriteux et de la bournonite, soit par des quartz compactes associés à la baryte sulfatée.

Deux espèces de filons tendent encore à s'isoler sur quelques points du plateau central : ce sont d'abord quelques petits filons d'étain existant à Vaulry, près Limoges, et à Ségur, dans la Corrèze; en second lieu, des filons blendeux, dont le gisement le plus important est celui de Clairac, dans le département du Gard. On y a reconnu les affleurements de trois filons parallèles courant à peu près N. S., et traversant verticalement, sur une

longueur de plus de 1,000 mètres, les couches du lias métamorphisé jusqu'à une distance de 40 à 50 mètres du toit et du mur.

Les gîtes de contact ont eu, sur quelques points, une importance plus grande que celle des filons. Ces gîtes de contact ont pour siége principal les arkoses et les couches marneuses qui appartiennent au lias. Les mines de Chessy, aujourd'hui épuisées, étaient ouvertes sur un gîte placé au contact du granite et de grès inférieurs du lias. Ce plan de contact contenait des amas de pyrite cuivreuse, de cuivre carbonaté et oxydé, dont l'exploitation a été des plus avantageuses. Les amas de manganèse oxydé de Romanèche sont dans une position géognostique analogue, et les petits amas de galène, calamine ou blende, qui existent dans les calcaires magnésiens du lias aux environs de Figeac, Villefranche, Lardin, appartiennent aussi à cette classe de gîtes. Enfin, le chrome oxydé, disséminé dans les arkoses des Écouchets, en offre encore un exemple intéressant.

Les mines connues pour avoir été exploitées dans cette région, et dont la reprise serait possible, sont :

Côte-d'Or. Mine de plomb argentifère. Commune d'Aligny. (Exploitée très-anciennement; a été l'objet de quelques tentatives en 1732 et en 1734. On y voyait encore, en 1774, une galerie très-étendue.)

Nièvre. Mines de plomb argentifère. Commune de Chitry-les-Mines. (Ces mines ont donné lieu à l'une des plus considérables exploitations de France. Découvertes en 1493, leur extraction a été abandonnée vers le milieu du dix-septième siècle. Leur existence et leur grande importance sont attestées par dix édits, enregistrés, pour la plupart, au parlement de Paris, dont le premier date de 1493, et le dernier de 1599.)

Mine de plomb. Commune de Saint-Reverien. (On ignore si ce gîte a été exploité anciennement. Quelques recherches ont été faites il y a quelques années.)

Mine de plomb et argent. Commune de Saint-Didier. (Abandonnée depuis fort longtemps. Elle a été exploitée dans le même temps que les mines de Chitry.)

Indice de mine de plomb argentifère. Commune de Frauchy. (Découvert vers 1775. On y a fait, en 1785, quelques travaux qui donnaient des espérances.)

Mine de plomb de Ganiez. Communes de Glux et Saint-Prix. (Découverte en 1782. On y a fait alors des travaux.)

Mine de plomb de Crieur. Commune d'Aunay. (Époque de l'abandon inconnue.)

Mine de cuivre et plomb. Commune de Montceau. (Abandonnée depuis très-

longtemps. Son existence est principalement attestée par des scories très-riches en cuivre et en plomb.)

Saône-et-Loire. Mine de plomb. Commune d'Oyé. (Plusieurs filons sur lesquels il a été fait quelques recherches peu suivies il y a un certain nombre d'années.)

Mine de plomb. Commune de Gueugnon. (On y a fait quelques recherches il y a environ 45 ans.)

Mines de plomb. Commune de Saint-Christophe.

Mine de plomb. Commune de Saint-Prix. (Découverte en 1782. On y a entrepris quelques travaux de recherches abandonnés peu de temps après.)

Mines de chrome oxydé vert des Écouchets. Commune de Saint-Pierre-de-Varennes. (A été l'objet de quelques travaux d'extraction qui ont duré pendant plusieurs années et qui ont fini en 1813.)

Allier. Mines d'antimoine. Commune de Bresnay. (Exploitées et abandonnées dans le cours du siècle dernier.)

Mines d'antimoine. Commune du Jardinet. (Exploitées et abandonnées dans le cours du siècle dernier.)

Mine d'antimoine. Commune de la Petite-Marche. (Depuis longtemps abandonnée. On croit que l'abandon ne tient point à son épuisement.)

Mine de plomb. Commune de Nizerolle.

Puy-de-Dôme. Mine de plomb argentifère. Saurière près d'Issoire. (Époque de l'abandon inconnue. On y fait des recherches.)

Mine de plomb de Saint-Amand-Roche-Savine près d'Ambert et de la Brugère près d'Esteil.

Mine de fer. A Compains. (Abandonnée il y a environ un siècle faute de bois.)

Mines de plomb. Youx et Masboutin, près de Montaigu. (Exploitées vers 1730, reprises vers 1775, et abandonnées, faute de capitaux, quelques années après.)

Rhône. Mines de plomb de Boussière et de Valetier. Commune de Tarare et de Joux. (Travaillées et successivement abandonnées en 1748, en 1813 et en 1819.)

Mine de plomb. Commune de Bressieu. (Abandonnée en 1776 à cause de la rareté des produits.)

Mine de plomb. Commune de Propières (Exploitée anciennement; reprise il y a un certain nombre d'années et abandonnée peu de temps après.)

Mine de plomb. Commune de Chasselay. (Abandonnée en 1780.)

Mines de plomb du Fenoyl, de la Fouillouse, de Chambost, de la Tour, de Sainte-Paule, d'Étra. Communes des Halles, de Juliennes, de Chambost, de la Tour-Salvagny, de Sainte-Paule, d'Étra.

Mine de plomb de la Maison-Blanche. Commune de Vaugneray. (Quelques recherches furent faites il y a 12 ans.)

Mine de plomb de Chaponost. Commune de Chaponost. (Quelques recherches furent faites il y a 12 ans.)

Mine de plomb de Dizinieu. Commune de Louges. (L'existence d'un puits atteste qu'on y a fait anciennement des recherches.)

Mine de cuivre sulfuré. Commune de Chavayzoles. (La compagnie des mines de

Chessy et Saint-Bel y a fait anciennement des recherches qui ont été abandonnées en 1784.)

Vienne. Mine de plomb. Près de Sanxais. (L'époque de l'abandon est inconnue. On n'a fait qu'effleurer la tête des filons.)

Mine de plomb. Près le Vigean. (On ignore l'époque de l'abandon. La tradition porte que les recettes n'ont pas couvert les dépenses.)

Hérault. Mines de cuivre de Cabrières, près Neffiès, récemment explorées par M. Graff.

Haute-Vienne. Mine de plomb un peu argentifère. Commune de Glanges, de Saint-Genêt et de Vic. (Exploitée avec des chances diverses depuis 1724 jusqu'à la Révolution.)

Mines d'antimoine. Communes de Coussac-Bonneval et de Glandon, arrondissement de Saint-Yrieix. (Abandonnées en 1812, après avoir été irrégulièrement exploitées pendant 50 ans.)

Mine d'étain. A Vaulry. (Exploitée par les anciens. L'administration y a fait exécuter des recherches à plusieurs reprises, depuis 1819.)

Corrèze. Mine de cuivre carbonaté vert et bleu, mélangé de sulfure de cuivre et de cuivre rouge. Montagne des Forges. Commune de Louignac. (Quelques recherches ont été faites en 1825 et abandonnées à cause de l'irrégularité du gîte.)

Indice de mine d'étain. A Ségur. (Trouvé il y a 50 ans.)

Mine de plomb à Mercœur. (D'anciens renseignements parlent de cette mine comme renfermant plusieurs filons. Dans le cours de la Révolution elle a été l'objet d'une demande en concession qui n'a pas eu de suite.)

Mine de plomb. Commune de Moustier-Ventadour. (Paraît avoir été abandonnée un peu avant 1765, à cause de la mauvaise exploitation et de la modicité du produit.)

Gard. Sables et terres aurifères. Aux environs de Saint-Ambroix et de Malbosc, dans le lit de la Cèze et de la Gagnère, dans celui de plusieurs ruisseaux affluents, ainsi que dans une partie des terrains cultivés qui forment les bassins de ces deux rivières. (La cueillette de la poudre d'or, anciennement très-productive, n'est plus pratiquée que par quelques paysans.)

Mines d'antimoine. Près de Sessous. (Des travaux ont été ouverts il y a quelques années et abandonnés faute de produits suffisants.)

Mine d'antimoine de Coignas et Latrau. Commune de Portes. (Abandonnée en 1824 après plusieurs années d'exploitation. Minerai peu abondant et de médiocre qualité.)

Mine de plomb et argent. Commune de Laval. (Il existe un immense tas de déblais sur le terrain.)

Lozère. Mines de plomb et argent de Saint-Sauveur. Communes de Meyrueis et Gatuzières (Lozère), et Saint-Sauveur (Gard). (Exploitées très-anciennement ; reprises en 1755 sur un grand pied ; abandonnées en 1789. Renonciation à la concession le 13 mai 1822. Ces mines sont décrites dans le tome VIII des ***Annales des Mines***, pag. 474 et suivantes. Elles se composent d'un grand nombre de filons en général bien réglés.)

Mine d'antimoine de Téraillon. Commune de Saint-Martin-de-Loubaux. (Abandonnée depuis peu de temps à cause de la pauvreté du gîte.)

Mine de plomb. Commune de Saint-Michel-de-Dèze. (On ignore l'époque et la cause de l'abandon.)

Mine de plomb. Commune de Cassagnas. (L'époque de l'abandon est inconnue. Un bocard et des restes de bâtiments indiquent une exploitation d'une certaine importance.)

Dordogne. Mine de plomb. Commune de Nontron. (Des tentatives d'exploitation faites à différentes époques, et dont la dernière a eu lieu en 1823, n'ont eu aucune suite.)

Mine de plomb. Commune de Saint-Martin. (Dans une tentative faite en 1824, on a dépensé environ 4,000 francs. La recette a été d'environ 700 francs.)

Indices de mine d'antimoine. Commune du Grand-Jumilhac.

Mine de manganèse. Commune de Milhac de Nontron. (Fouilles à ciel ouvert abandonnées depuis quelques années.)

Indices de mine de manganèse. Commune d'Eyzerat. (On n'y a encore fait aucun travail.)

Indices de mine de manganèse de Valajoux. Commune de Montignac. (Ce gîte, découvert il y a plusieurs années, n'a pas encore été exploré.)

La *chaîne des Pyrénées* n'offre que de faibles ressources en filons métallifères; mais il y existe un grand nombre de gîtes de fer oxydé ou de fer spathique qui alimentent les forges catalanes.

Le plus important de ces gîtes est celui de Rancié, près Vicdessos, qui entretient à lui seul environ 50 foyers catalans, et qui est exploité depuis plus de 600 ans. Le terrain encaissant est composé de calcaire blanc saccharoïde, de calcaires gris plus ou moins cristallins et d'argile schisteuse. L'ensemble de ces couches, longtemps regardé comme appartenant au terrain de transition, a été placé par M. Dufrénoy dans la partie inférieure de la formation jurassique; il s'y trouve en effet sur quelques points des bélemnites, des térébratules et des entroques, qui caractérisent les marnes supérieures du lias.

Les couches de la montagne de Rancié sont verticales, et l'une d'elles est tellement pénétrée d'hématite brune, accompagnée d'hématite rouge, de fer spathique et quelquefois d'oxyde de manganèse, que le minerai de fer peut y être considéré comme la roche dominante. En effet, non-seulement le calcaire est im-

prégné d'oxyde de fer de manière à être souvent tout à fait masqué, mais un grand nombre de veines sont remplies d'oxyde pur; on y trouve, comme dans les filons, des druses cristallines, des cavités tapissées de couches concentriques d'hématite brune et rouge. Cette couche a été reconnue depuis la cime de la montagne jusqu'à sa base, sur une hauteur de 600 mètres; on n'en connaît pas la limite inférieure. La puissance moyenne est de 20 mètres; elle va jusqu'à 40 dans les renflements et est quelquefois étranglée à 4 mètres. Ce beau gîte métallifère doit être regardé comme un stocwerk plutôt que comme une couche isolée. Sa disposition parallèle à la stratification du terrain l'a fait longtemps considérer comme de formation contemporaine; mais les observations de M. Dufrénoy ne permettent plus de douter qu'il ne soit postérieur au terrain encaissant. Sa formation se trouve ainsi liée aux épanchements granitiques qui ont contribué au relief du sol, et qui, en beaucoup de points, ont transformé les couches calcaires en marbres et en dolomies.

La masse du Canigou présente la génération des gîtes de fer spathique sur une échelle encore plus grande. Une roche granitique a percé au milieu des terrains stratifiés, et la zone ellipsoïde, d'environ 16 kilom. de diamètre, suivant laquelle a lieu le contact des deux espèces de roches, renferme des gîtes nombreux de fer carbonaté spathique et de fer oxydé. Telle est la loi de groupement des mines de Batère, de Rocas-Negros, de la Droguère, d'Olette, de Fillols, de Vellestavia, Saint-Martin, etc., qui forment des amas, veines ou filons, tous coordonnés d'après ce principe.

Les gîtes des Pyrénées autres que les gîtes de fer sont restés jusqu'à présent sans importance; mais l'utilisation de la blende paraît devoir ranimer l'exploitation sur quelques points, et surtout dans l'Ariége. Il existe des filons de blende et galène notamment autour du mont Crabère, aux environs de Sintin, de Castillon et d'Aulus. Parmi les anciennes mines, on cite encore les mines de cuivre de Baigorry, dans le département des Bas-

ses-Pyrénées, et celles de plomb argentifère d'Aulus, dans la vallée d'Erce, département de l'Ariége, qui ont été abandonnées après avoir été ouvertes à plusieurs reprises. Les principaux gîtes connus pour être dans le même cas sont, indépendamment d'un grand nombre de gîtes de fer oxydé ou spathique :

Aude. Mines de cuivre de la Canale, de Pech-Egute, de Sainte-Marie, etc. Commune de Maisons. (Abandonnées vers 1750 après un assez grand développement de travaux souterrains.)

Mine de cuivre. Communes de Lanet et de Bouysse. (Travaux de reconnaissance à plusieurs époques ; les derniers datent de 40 ans.)

Mine de cuivre antimonial et argentifère de Feugerolle. (Commune de Quintillan. (Anciennement exploitée, reprise en 1782. Abandonnée en 1793.)

Mine de plomb argentifère de Rocas-Negros. Commune des Bains de Rennes. (L'époque et la cause de l'abandon sont inconnues.)

Mine de plomb. Commune de Mont-Gaillard. (L'époque et la cause de l'abandon sont inconnues.)

Mine d'antimoine. Commune de Quintillan. (Abandonnée en 1805 par suite de la rareté du minerai.)

Mine d'antimoine de las Corbos. Commune de Maisons. (Exploitation suspendue depuis 1823.)

Mine de manganèse de Villerambert. Commune de Cannes. (Abandonnée vers 1802 faute de débit.)

Hérault. Mine de cuivre. Commune de Vieussau. (Abandonnée il y a deux siècles ; reprise en 1789 et abandonnée presque aussitôt sans motifs connus.)

Indices de mine de plomb argentifère. Riols, près de Saint-Pons. (Ils consistent en un beau filon découvert il y a peu d'années, sur lequel il n'a été fait aucun travail, et que les rapports signalent comme devant être productif.)

Mine de cuivre. Commune de Boussagues. (L'époque de l'abandon est inconnue On y a fait des travaux souterrains considérables.)

Mine de plomb de la montagne de Caroux. A Colombières. (La cause et l'époque de l'abandon sont inconnues.)

Mine de plomb argentifère de la Maloie et du Pradel. Communes de Mourcairol et de Villemagne. (La cause et l'époque de l'abandon sont inconnues. L'étendue des anciens travaux atteste une grande et longue exploitation. Quelques travaux de reconnaissance ouverts il y a 30 ans n'ont point eu de suite.)

Ariége. Mine de plomb argentifère. Commune d'Aulus, canton d'Oust (Plusieurs gîtes voisins les uns des autres ont été superficiellement exploités dans des temps très-reculés. Il y a eu une reprise mal administrée et mal conduite sous le rapport de l'art il y a environ un demi-siècle. Il paraît qu'on a méconnu le principal minerai, qui est un carbonate de plomb argentifère, tantôt solide et tantôt terreux. Des rapports circonstanciés annoncent que ces mines peuvent donner lieu à une exploitation.)

Sables et terres aurifères. Environs de Pamiers, principalement dans le lit des ruisseaux de Benagues-Ferriès, Gros-Milly, Trebans, Pailhès, etc., etc., et dans un grand nombre de terrains cultivés qui font partie des bassins de ces ruisseaux.

Bassins et lits des ruisseaux de la Béouse et de Taliol, entre Foix et Saint-Girons.

Bassins et lits des ruisseaux de Nert et du Salat, dans les environs de Saint-Girons.

(Avant la découverte de l'Amérique, la cueillette de la poudre d'or dans l'Ariége donnait lieu à une industrie importante et qui datait de temps immémorial. Les orpailleurs étaient tenus de livrer l'or à un prix déterminé à la Monnaie de Toulouse, mais il y avait souvent contrebande. Depuis 1500, cette industrie a successivement diminué. Vers la fin du seizième siècle, la quantité d'or portée annuellement à la Monnaie de Toulouse ne s'est plus élevée au-dessus de deux cents marcs. De 1750 à 1762, le bureau de Pamiers n'a reçu en tout que quatre-vingts marcs. Aujourd'hui, la cueillette n'occupe plus que quelques paysans. Elle a été autrefois l'objet d'un grand nombre d'arrêts, d'édits et de règlements. Les principaux sont ceux des 14 mai 1472, 18 octobre 1481 et 9 novembre 1571. L'or est à un très-haut titre. Ces gîtes sont décrits par Réaumur, *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, année 1718; par Guettard, *idem*, année 1761; et par Dietrich, *Description des gîtes de minerais de France*, t. I.)

Haute-Garonne. Mine de plomb et argent. Sur la montagne d'Uls, commune de Melles. (Abandonnée en 1824, les produits ne couvrant pas la dépense.)

Tarn. Mine de plomb. Brassac. (Découverte en 1790; a été peu de temps après l'objet de quelques travaux qui ont produit 5 à 6,000 kilogrammes d'alquifoux et qui n'ont pas eu de suite. Elle est décrite, *Journal des Mines*, t. XXVIII.)

Mine de cuivre de Rosières. Carmeaux. (Abandonnée de temps immémorial; a été l'objet de travaux considérables dont une partie est encore accessible. Elle est décrite, *Journal des Mines*, t. XXVIII.)

Les seuls gîtes actuellement exploités dans les *Alpes françaises* sont les amas de fer spathique, gîtes de contact qui se trouvent entre la vallée de la Romanche et celle de l'Arc. Les mines les plus productives de ce groupe sont celles des environs d'Allevard.

La vallée de l'Oisans renferme des filons qui ont été exploités à plusieurs reprises. Le petit filon de la Gardette, composé de quartz contenant de la pyrite de fer et de l'or natif, est remarquable par sa régularité; sa puissance n'est que de $0^m,30$, et cependant il a été suivi sur plus de 300 mètres.

Le gîte le plus intéressant de ce district, celui qui a donné lieu aux travaux les plus développés, est celui d'Allemont, situé

dans la montagne des Chalanches, à 2 myriamètres E. de Grenoble. Cette montagne est composée de schistes talqueux et amphiboliques, enclavant des couches calcaires et surmontant des granites qui en forment la base. Des galeries furent ouvertes à 2,100 mètres de hauteur dans un filon très-irrégulier traversant une roche quartzeuse micacée qui fait partie du terrain schisteux et dont les couches inclinent au S. O. Ces gites sont irréguliers comme l'allure du terrain, et la marche de leurs accidents porte à croire qu'ils ont été produits par les causes qui ont accidenté les Alpes françaises, c'est-à-dire postérieurement aux terrains secondaires dont les assises ont été si violemment disloquées et si profondément altérées.

La gangue de ces gîtes est argileuse et variée par cette multitude de substances qui caractérisent les montagnes de l'Oisans et dont l'on retrouve des échantillons dans les collections minéralogiques. Ce sont : la chaux carbonatée, dont on a compté treize variétés, la chaux carbonatée manganésifère, la chaux sulfatée, la baryte sulfatée, le quartz hyalin, enfumé ou laiteux, le jaspe, plusieurs variétés de grenat, le feldspath, l'axinite, l'épidote, l'actinote, l'asbeste, le talc, la chlorite. Tous ces minéraux servent de gangues à l'argent natif, à l'argent sulfuré accompagné d'un grand nombre de substances métallifères, telles que la galène argentifère, le nickel arsenical, l'arsenic, l'antimoine natif, le cuivre sulfuré, le cuivre carbonaté, le cuivre gris, l'oxyde de manganèse, enfin le mercure sulfuré et natif.

Les autres gîtes sur lesquels on peut appeler l'attention sont :

Hautes-Alpes. Mine de plomb. A Lapierre. (Abandonnée depuis 80 ans comme trop pauvre.)

Mine de plomb. A l'Argentière. (Abandonnée depuis 40 ans environ comme trop pauvre.)

Mine de cuivre. Aux Acles. (Abandonnée depuis 40 ans comme trop pauvre.

Var. Minières de fer chromaté de Gassin. (Terrain en partie concédé et en partie non concédé.) Sur la plage de Cavalaire. (L'exploitation a été récemment aban-

donnée par l'effet de la concurrence du fer chromaté de Baltimore, États-Unis d'Amérique.)

Mine de plomb argentifère. A Cogolin. (Seulement explorée ; abandonnée depuis plusieurs années à raison du peu d'abondance du minerai.)

Indices de mines de plomb et zinc sulfurés tenant cuivre et argent. A Lagarde-Frainet. (N'ont jamais été exploités ni explorés.)

Indices de mines de plomb argentifère. A Montali, près Grimaud (N'ont jamais été exploités ni explorés.)

Indices de mine de plomb argentifère. A la Gambade. (N'ont jamais été exploités ni explorés.)

Indices de mine de plomb. Près de Gassin. Ont été l'objet de quelques travaux de reconnaissance.)

Autres indices analogues dans un rayon d'un à deux myriamètres autour de Saint-Tropez, notamment près du bois Noir. (Ceux-ci ont été reconnus par quelques fouilles.)

Mine de plomb argentifère avec cuivre et fer. Au lieu dit les Ameniers. (Explorée en 1823, abandonnée depuis lors.)

Mine de plomb. Commune du Canet du Luc. (L'époque de l'abandon est inconnue.)

Indice de mines de cuivre pyriteux. Au Luc. (On ne croit pas que ce gisement ait encore été attaqué.)

Indices de cuivre carbonaté. Entre Hières, Sollies et Toulon. (Point encore explorés. Minerai disséminé dans des grès bigarrés.)

Indices de mine de graphite (plombagine). A une demi-lieue du plan de la Tour. (Il ne paraît pas qu'il y ait des recherches faites sur ces indices.)

Indices de graphite. A Ramatuelle, au sud de Gassin.

Basses-Alpes. Mine de plomb. Commune de Saint-Geniez-de-Dromont. (Non exploitée depuis 1788.)

Mine de plomb argentifère. Commune de Curban, au pied de la montagne Aujarde. (On y a fait des tentatives d'exploitation en 1718, en 1770, en 1783, et définitivement en 1785. Elle a été abandonnée vers 1790, probablement à cause de l'appauvrissement du gîte.)

Mine de plomb argentifère. Commune de Piégu, hameau de Nairac. (On y a fait des tentatives d'exploitation en 1718, en 1770, en 1783, et définivement en 1785. Elle a été abandonnée vers 1790, probablement à cause de l'appauvrissement du gîte.)

Mine de plomb de la Malune. Entre les vallées de Verdon et de Barcelonnette. (Découverte en 1762, exploitée en 1766, reprise vers 1786, et abandonnée peu de temps après à raison du peu d'abondance des produits.)

Indices de plomb. Près de Colmars, partie supérieure de la vallée du Verdon. (Il y a eu des travaux de recherche qui ont fourni de beaux échantillons de minerai.)

Isère. Mine d'argent des Chalanches, près d'Allemont, commune d'Allemont. (Découverte et exploitée en 1768, abandonnée depuis 1815 par suite de la mort du concessionnaire et de ses mauvaises affaires dans d'autres entreprises. Malgré de

grandes et fâcheuses vicissitudes administratives et l'exiguïté de la mise de fonds, l'exploitation, qui a duré quarante-six ans, a produit 42 525 marcs d'argent. La recette totale a été de 2 296 367 francs. La dépense totale a été de 2 415 317 francs. Déficit, 115 650 francs. Ce déficit provient des vingt-trois dernières années, la dépense annuelle (31 000 francs terme moyen) ayant été constamment trop faible pour donner un développement suffisant aux travaux souterrains. Tous les rapports s'accordent sur les avantages de la reprise de cette mine, pourvu qu'on y applique des capitaux suffisants.)

Mines de plomb. Vizille et Vaulnaveys. (Abandonnées depuis quinze à vingt ans comme trop pauvres.)

Mines de plomb. Sechilienne et Saint-Barthélemy. (L'époque de l'abandon est inconnue. On présume qu'elles sont pauvres.)

Mines de plomb argentifère. Huez et lieux environnants. (Abandonnées à une époque inconnue et très-ancienne, probablement à cause de leur pauvreté.)

Mine d'or de la Gardette. Commune de Villard-Eymond, près du bourg d'Oisans. (Recherches suivies de quelques tentatives d'exploitation, au commencement de 1700, en 1733, en 1765 et en 1770. Exploitation faible de 1781 à 1787, pendant laquelle on a dépensé 27 371 francs. La recette en or et en cristaux de roche a été de 8000 francs. Cette mine a été reprise en 1837, elle est décrite dans le *Journal des Mines*, t. XX, p. 105.)

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'ALLEMAGNE SEPTENTRIONALE.

L'Allemagne est la terre classique de l'exploitation des mines. Sa vaste superficie peut être subdivisée en plusieurs zones, dont les caractères sont tout à fait distincts sous le rapport des minerais et des industries qu'ils alimentent.

Dans toute cette région, le terrain de transition est le terrain métallifère par excellence. La forme de filons est la plus habituelle pour les gîtes ; et, si l'on vient à comparer la manière d'être de ces filons, ce qu'on appelle leur allure, ainsi que la nature des minerais qui s'y trouvent disséminés dans les divers districts, on reconnait entre ces districts des différences notables. Ces différences conduisent à diviser les régions métallifères en trois zones distinctes.

L'Elbe, le Veser et le Rhin servent de limites à ces trois zones.

Entre l'Elbe et le Veser, les régions du Harz, de l'Erzgebirge et du Thuringerwald renferment des filons classiques par leur

régularité ; et, bien que des gîtes irréguliers se mêlent aux filons, cette forme est tellement dominante, qu'il en résulte un caractère spécial. Les minerais ordinaires consistent en sulfures éclatants et cristallins, tels que la galène, l'argent rouge, la pyrite cuivreuse ; en métaux natifs ou alliés, tels que l'arsenic, le cobalt ou le nickel arsenical. Les minerais de fer existent à la fois en filons et en gîtes de contact ; ce sont des oxydes cristallins, tels que le fer oligiste et les hématites fibreuses.

Entre le Veser et le Rhin, ces caractères se trouvent modifiés, sous le double rapport de la forme et de la composition des gîtes. Les filons sont généralement concordants avec la stratification du terrain, et irréguliers dans leur allure, au point que les filons curvilignes sont les plus fréquents, et qu'il n'est pas rare d'en trouver qui sont contournés en S. Parmi les minerais, la blende est la caractéristique la plus générale ; elle domine partout la galène, à laquelle elle se mélange constamment. Enfin, dans cette zone, le fer spathique manganésifère domine tous les autres minerais de fer.

Sur la rive gauche du Rhin, et notamment dans la vallée de la Meuse, se trouve une troisième zone métallifère, caractérisée d'abord par la forme tout à fait irrégulière des gîtes, qui sont même en amas plutôt qu'en filons, et, en second lieu, par leur nature, qui consiste en hydroxydes de fer, lithoïdes et caverneux, et en calamines plus ou moins mélangées de ces hydroxydes.

Ces différences caractéristiques des gîtes métallifères sont en quelque sorte écrites dans les industries des trois zones. Entre l'Elbe et le Veser sont les principales usines de plomb, argent, cuivre, cobalt et les forges qui produisent les fers de qualité. La zone intermédiaire, entre le Veser et le Rhin, est spécialement représentée par la production des fontes cristallines, pour la fabrication des aciers allemands. Enfin, la zone belge rhénane est en possession de la production des fontes communes, des fers à rails et du zinc.

La zone intermédiaire, qui se trouvait plus limitée que les

autres dans ses produits, est entrée dans une période nouvelle, depuis que le traitement de la blende s'exécute aussi facilement que celui de la calamine. La présence de la blende, qui entravait les exploitations, est ainsi devenue un puissant auxiliaire, et le développement des travaux en a reçu une impulsion remarquable.

Jetons un coup d'œil rapide sur les richesses métallifères de ces trois zones, en commençant par la plus orientale, dont les deux principaux éléments sont contenus dans les provinces de l'Erzgebirge et du Harz.

L'*Erzgebirge* est la chaîne de montagnes qui sépare la Saxe de la Bohême; sa forme linéaire est très-prononcée et sa direction O. 35° N. très-nette, quoique la crête de séparation soit peu élevée. Les points culminants sont formés par les dômes porphyriques et par quelques dykes basaltiques de 1200 à 1500 mètres d'élévation absolue, dont les masses, généralement arrondies, dépassent de 100 à 300 mètres au plus la ligne d'intersection des deux versants. La longueur de cette chaîne est de 150 kilomètres.

Le versant de la Saxe est peu incliné; il présente la forme d'un vaste plateau qui, depuis les environs de Freiberg, s'élève graduellement jusqu'à la ligne de faîte. Les vallées y sont larges et peu accidentées; les cours d'eau y coulent doucement et par de longs trajets vers les plaines de l'Elbe. Ce versant est exclusivement composé de gneiss et de quelques alternances schisteuses développées surtout vers la partie occidentale de la chaîne.

Le versant de Bohême offre des caractères tout à fait différents. Les pentes y sont généralement rapides, et le terrain, profondément sillonné, s'abaisse sur une distance de quelques kilomètres jusqu'au niveau des plaines. Cette différence de constitution est mise en évidence par la disposition des cours d'eau principaux qui, au lieu d'être, comme vers le nord, dirigés perpendiculairement à l'axe de la chaîne, lui sont parallèles et se rendent directement à l'Elbe par les vallées profondes de

l'Éger et de la Bila. Les ravins multipliés qui amènent dans ces vallées les eaux de l'Erzgebirge, leurs flancs dénudés par les eaux, présentent d'ailleurs plus d'intérêt aux géologues. Les terrains y changent en peu de temps : aux porphyres, granites et gneiss de l'axe culminant succèdent rapidement les affleurements des dépôts secondaires et tertiaires qui les recouvrent; et la grande formation basaltique de la Bohême, qui s'annonçait sur la crête par des buttes détachées, se développe par des plateaux, par des dykes qui couronnent les collines et donne encore un nouveau caractère au sol par la variété des minéraux accidentels.

Du haut des protubérances de porphyre ou de gneiss qui dominent la rencontre des deux versants, le Kahlerberg ou le Keilberg, par exemple, on peut apprécier ce contraste de leur constitution physique et géologique. Les formes des montagnes, la couleur des roches et jusqu'à la végétation, tout contribue à faire ressortir la différence de ces deux versants, que l'on voit finir, en quelque sorte, l'un vers Freiberg et Chemnitz, perdus dans l'horizon, l'autre vers Tœplitz et Carlsbad, que l'on domine par des descentes rapides.

Du sommet de ces observatoires clair-semés sur le faîte de l'Erzgebirge, aucun obstacle n'arrête les regards, et l'on peut voir encore une multitude de cités fondées par l'industrie des mines, et dont les noms rappellent presque tous les gîtes célèbres dans l'histoire de la science : Freiberg, où naquirent la minéralogie et la géologie, est le centre des filons les plus classiques; Altenberg, Zinnwald, petites villes modestes dans leurs constructions, mais célèbres par leurs gisements d'étain; vers l'O., Ehrenfriedersdorf, Geyer, Marienberg, Annaberg, Johangeorgenstadt, dont les minéraux variés enrichissent les collections; Schneeberg, la ville du cobalt et du nickel, et, sur l'autre versant, Joachimstall, le joyau des mines de la Bohême, Bleystadt, Schlackenwald, etc.

Les gneiss, qui constituent presque entièrement le versant saxon, sont peu variés dans leurs caractères; ces caractères sont

Digitized by Google

d'ailleurs ceux qu'on peut choisir comme types minéralogiques de cette roche. Dans tout le district de Freiberg, cette vaste nappe ondulée de gneiss présente un aspect identique, à peine modifié par quelques bancs de quartzites qui affleurent surtout vers le S. O et le S. E. Si quelque protubérance frappe les yeux, on peut immédiatement la supposer due à des porphyres qui forment le trait principal de la chaîne culminante, et dont les masses détachées sillonnent toute l'étendue du versant.

Cette vaste nappe de gneiss, dont Freiberg occupe le centre, ne forme en réalité que le premier terme excessivement développé du terrain de transition de Saxe. Vers l'O. et vers le N. se trouvent des zones de micaschistes et de schistes argileux qui complètent la série des roches de ce terrain avant qu'il disparaisse sous les dépôts secondaires.

Nous avons décrit précédemment les filons des environs de Freiberg représentés sur la carte (planche XV), et ceux de Joachimstall représentés sur la carte (planche XIV) : ces deux champs de fracture renferment les filons les plus célèbres de la contrée, mais ils ne sont pas les seuls.

La partie occidentale de l'Erzgebirge contient une série de gîtes que l'on a souvent appelée une seconde formation métallifère, à cause des différences notables que ces gîtes présentent dans leur composition. Des minerais plus argentifères, le cobalt, le nickel, l'urane, caractérisent les filons les plus récents de cette seconde formation, qui présente d'ailleurs des gîtes d'âge très-variable, les uns étant encore liés aux porphyres quartzifères, et les plus modernes aux basaltes. Les gîtes de Schneeberg, Marienberg, Annaberg, Johangeorgenstadt, sont presque aussi célèbres que ceux dont nous avons précédemment donné la description, si ce n'est dans les archives de l'exploitation, du moins dans l'histoire géologique des mines et dans les travaux minéralogiques.

Outre les filons, il existe dans l'Erzgebirge un assez grand nombre de gîtes irréguliers qui sont principalement caractérisés par l'oxyde d'étain.

Digitized by Google

On trouve en Saxe de l'oxyde d'étain dans quatre classes de gîtes : 1° en stocwerks, composés de veines et de petits amas dans certaines masses de granites et de porphyres (ce sont les gîtes que nous avons appelés gîtes éruptifs); 2° disséminé dans les couches du terrain schisteux avec les substances annexes qui lui servent de gangues, telles que le quartz, la tourmaline, la topaze, la chlorite, etc. ; ce sont des gîtes irréguliers métamorphiques; 3° formant de véritables filons-fentes, remplis postérieurement à la formation du terrain qui les encaisse; 4° en alluvions stannifères dans les vallées où l'action des eaux diluviennes a détruit des gisements préexistants sous les formes déjà citées et accumulé des masses plus ou moins considérables de débris.

Le stocwerk de Zinnwald, dont une galerie est représentée planche VII, fig. 1, se compose d'une masse hémisphérique de greisen à gros grains. Cette masse est divisée en zones qui suivent la courbe convexe de sa surface extérieure, et sept de ces zones, de $0^m,30$ de puissance, sont en partie composées d'étain oxydé. Ces zones de greisen, qui semblent résulter d'une espèce de liquation par refroidissement, sont coupées par de petits filons verticaux, de chaque côté desquels les zones stannifères éprouvent des rejets assez considérables, ainsi que l'indique la figure; ces filons verticaux sont stériles. Ce gîte est évidemment contemporain du greisen dont il fait partie. La masse du greisen stannifère est comprise dans un terrain de porphyre auquel s'arrêtent les zones de minerais.

Le gîte d'Altenberg présente un caractère différent : c'est une masse de porphyre grisâtre, quartzifère, d'environ 400 mètres de longueur sur une largeur de 200 à 300 mètres. Cette roche est stannifère dans toute sa masse, et plus elle est quartzeuse, plus elle est riche en étain. Dans une partie de son périmètre, le porphyre passe soit au granite, soit à la syénite ; mais alors il s'appauvrit, et c'est seulement lorsque la roche reprend sa première nature de porphyre gris quartzifère que le minerai reparaît. Cette roche d'Altenberg peut être considérée

comme le greisen de Zinnwald, à l'état compacte, et mélangé de feldspath.

Chacun de ces amas ou stocwerks, ou, en d'autres termes, chacune de ces masses stannifères éruptives est différemment caractérisée par la forme et la disposition des veines stannifères. A Geyer, par exemple, les veines suivent des dessins tout à fait irréguliers, mais dont les allures se rapprochent le plus souvent de la verticale; elles se soudent et se ramifient sans que l'on ait pu constater aucune disposition spéciale, si ce n'est une certaine tendance au parallélisme avec les strates des micaschistes qui s'appuient sur la roche stannifère.

Il est difficile de voir dans ces divers exemples autre chose que des gîtes contemporains d'une roche ignée dont la nature varie et dans laquelle la présence du minerai d'étain est liée à certains caractères minéralogiques qui, eux-mêmes, ne sont pas constants d'un gîte à l'autre. Cette contemporanéité range l'oxyde d'étain parmi les principes constituants des roches éruptives.

Les autres manières d'être des gîtes stannifères, en Saxe, ne présentent rien de particulier : ce sont, comme dans les autres districts et notamment le Cornwall, les gîtes métallifères les plus anciens; les gangues y sont caractérisées d'une manière assez remarquable par le quartz, la chlorite, la tourmaline et la topaze.

En résumé, le porphyre quartzifère de l'Erzgebirge est la roche métallifère par excellence; les gîtes d'étain, qui peuvent être considérés comme liés aux phénomènes directs de l'éruption des masses principales, sont par conséquent les plus anciens de la série. Les galènes argentifères et les pyrites pauvres argentifères, qui forment le trait caractéristique des filons de Freiberg, minerais liés, à Marienberg, aux minerais d'étain, formeraient une seconde période bien distincte de la période des minerais éruptifs; enfin les minerais de cobalt, urane, bismuth et argent, contemporains des basaltes, seraient l'expression la plus récente des actions qui ont produit les minerais. La for-

Digitized by Google

mation métallifère se serait ainsi prolongée depuis le commencement de l'époque crétacée jusque vers la fin de l'époque tertiaire.

Les chiffres de la production saxonne sont, année moyenne : 65 000 marcs d'argent; 8000 quintaux métriques de plomb; 2200 d'étain. A cette production se joint une quantité considérable de produits accessoires, tels que 6000 quintaux de smalt de cobalt, du speiss de nickel, de l'oxyde d'arsenic, etc. La production de l'argent est devenue la principale industrie de Freiberg, et l'usine d'amalgamation d'Halsbruck entre pour moitié dans la production totale. On y traite des pyrites argentifères qui fournissent en moyenne 7 loths au quintal de Saxe.

Le *Harz* a été très-bien défini : un îlot protubérant formé par les terrains de transition et surgissant au-dessus des plaines secondaires de l'Allemagne septentrionale. Cet îlot elliptique a 10 myriamètres de longueur, depuis Grund jusqu'à Mansfeld, sur 3 de largeur moyenne; il est orienté du S. S. E. au N. N. E. Ses contours sont assez nettement dessinés par le relief du terrain de transition et par les affleurements des couches relevées du rothliegende, du zechstein, du grès bigarré, du muschelkalk, du keuper, du lias et de la craie, qui sont appliquées sur les derniers versants, et forment sur son périmètre des lisières ou zones d'affleurements étroites et concentriques.

Vu de quelques kilomètres, et lorsqu'on se place sur les dernières ondulations formées par ces lisières d'affleurement, le Harz apparaît comme une gibbosité surbaissée, dont les pentes s'élèvent doucement et assez régulièrement jusqu'au Brocken, qui est le point culminant; mais cette apparence de régularité cesse lorsqu'on pénètre dans l'intérieur, et l'on ne voit plus qu'un groupe de montagnes arrondies, tantôt entassées, tantôt séparées par des vallées larges et ouvertes. L'étude des roches constituantes devient dès lors indispensable pour apprécier l'ensemble et les détails de la structure du pays.

Le cône culminant du Brocken (1132 mètres d'élévation), qui forme le trait le plus prononcé de la structure du Harz, est

Digitized by Google

composé de granite; plusieurs montagnes, également élevées et de même composition, se rattachent au Brocken et constituent une masse saillante et cristalline autour de laquelle se contournent et se relèvent les dépôts stratifiés du terrain de transition.

A l'E. de cette masse, qui occupe environ 150 kilomètres carrés, les granites en forment une seconde beaucoup moindre en superficie comme en élévation; ce sont les montagnes de Rostrapp. Ces granites sont généralement très-cristallins et peuvent être assimilés aux types de la pointe du Cotentin.

Les terrains de transition du Harz sont divisés en deux formations puissantes : celle des *thonschiefer* ou schistes argileux, et celle des *grauwackes*. Ces deux formations, qui paraissent concorder dans la plupart des circonstances, forment cependant deux étages assez distincts.

Le développement des thonschiefer commence par des roches siliceuses, *kieselschiefer*, et se termine en se chargeant de quelques alternances calcaires. Il en est de même des grauwackes, qui commencent par les *quartzfels* ou quartzites et se terminent par des calcaires.

En parcourant l'intérieur du Harz, on reconnaît que la disposition des roches stratifiées est constamment subordonnée aux masses granitiques, ainsi désignées comme centres principaux d'éruption et de soulèvement; mais on reconnaît aussi que la structure du groupe offrirait plus d'unité et de simplicité si les formes n'eussent été compliquées par d'autres causes. Ces causes sont manifestes par la présence fréquente des roches amphiboliques éruptives, désignées sous les dénominations de *grunsteins*, *amphibolites*, *diorites*, *pyroxengeistein*, etc.

Ces *amphibolites*, d'un vert sombre, souvent cristallines et affectant les structures radiées et globulaires si fréquentes dans ces roches, se rencontrent dans toutes les parties du groupe; les accumulations principales suivent une ligne transversale depuis les environs de Lerbach jusqu'au delà d'Altenau, ligne interrompue par le cap granitique de Ziegenrucke, mais qui reparaît au delà de ce cap, vers Goslar et Harzburg. On retrouve les

Digitized by Google

mêmes roches amphiboliques autour des granites de l'E., à Andreasberg, à Wieda, etc.

Les roches amphiboliques du Harz justifient, par les variations de leurs caractères, la multiplicité des dénominations qui leur ont été données. L'adjonction du feldspath qui les fait bien réellement passer aux diorites, et la substitution de l'hypersthène à l'amphibole, sont les principaux éléments de ces transformations. Ces diverses roches, en se soudant aux roches stratifiées suivant le plan desquelles elles se sont souvent insérées, en ont altéré la nature minéralogique et la texture, de manière à déterminer des roches mixtes ou métamorphiques qui ont souvent reçu des dénominations spéciales. Telles sont les *blattersteins* et les *mandelsteins*, qui reproduisent les caractères de nos spillites et de nos amygdaloïdes.

Les roches amphiboliques sont les roches métallifères du Harz. Nous avons déjà signalé leurs relations directes et intimes avec les minerais de fer. Ces relations, quoique moins directes, sont cependant analogues entre les diorites des environs d'Andreasberg et les filons métallifères qui sillonnent ce champ de fracture situé dans les schistes argileux. (Voir la planche XIII et la description des filons d'Andreasberg.)

Dans les environs de Clausthal et de Zellerfeld, les filons sillonnent la zone des grauwackes; nous avons précédemment indiqué les caractères généraux de ces filons, qui forment la richesse principale du Harz, et dont le vaste réseau est représenté par la carte (planche XVI).

La composition générale des filons de Clausthal est assez homogène et se réunit aux caractères de forme et d'allure pour indiquer que tous ces filons, s'ils ne sont pas strictement de la même époque de formation, se rapportent du moins à la même période géologique et ont été formés par les mêmes influences.

Cette composition générale peut être définie comme un remplissage bréchiforme de roches du toit et du mur, soudées et traversées par des substances nouvelles qui tendent toujours à déterminer dans l'ensemble la disposition caractéristique des

Digitized by Google

filons, par bandes symétriques parallèles au toit et au mur. Cette disposition symétrique devient même complète lorsque, accidentellement et dans les parties peu puissantes, les substances nouvelles remplissent seules la fracture.

Ces substances sont, parmi les gangues : le spath calcaire pur ou ferrugineux (braunspath), le fer spathique, le quartz, la baryte sulfatée ; et, parmi les substances métallifères : la galène argentifère qui forme le trait le plus essentiel, la pyrite cuivreuse et la blende.

On peut considérer comme filon principal le filon intermédiaire qui commence à Wildeman, passe sous Zellerfeld et se termine environ à 2 000 mètres à l'E. de Clausthal, à la rencontre d'un autre filon, le *Rosenbusthergang;* ce second filon se prolonge à l'O. de Clausthal, par une partie renflée et très-divisée, dite *Rosenhofer Zug*, qui est un des points les plus riches de la contrée. Plus au S., le *Silbernaaler* commence aux environs de Grund, et se perd dans le même groupe de fissures infléchies à l'approche de la ligne des amphibolites et des gîtes de fer.

Au N. du filon principal se trouve d'abord un système de fissures très-rapprochées qui peut être considéré comme appartenant à un même filon composé du *Hutschenthaler*, du *Spiegelthaler* et du *Herzberger Zug*. Le filon de *Bockwieser*, qui se termine à *Schulenberg*, est un second système remarquable par sa puissance ; enfin, plus au N., celui de *Lauthenthal* et *Hannenkleer* termine le groupe des cassures métallifères qui embrassent ainsi un champ de 9 000 mètres de l'E. à l'O., et de 7 000 mètres du N. au S.

En résumé, ces six filons principaux courent, suivant une direction générale de l'E. à l'O. (direction moyenne de 8 heures), en coupant le terrain de grauwacke et de thonschiefer, dont les couches fortement inclinées sont dirigées, comme les masses amphiboliques, du N.-45°-E. au S.-45°-O. Ce qui est à remarquer, c'est que ces filons puissants s'arrêtent à une limite tracée par les roches amphiboliques qui courent de Lerbach à Altenau,

Digitized by Google

et dont la ligne n'a jamais été coupée par eux ; c'est en quelque sorte une barrière devant laquelle ils s'infléchissent et s'arrêtent.

Ainsi considérée dans son ensemble, la disposition des filons du district de Clausthal devient très-simple, puisqu'elle se réduit à six fractures ou plutôt à six artères principales auxquelles se rapportent tous les filons de la contrée. Ces six artères ont elles-mêmes dans leur ensemble des rapports évidents de parallélisme, de telle sorte que le champ des fractures métallifères peut être considéré comme sillonné par des fentes à peu près contemporaines qui ne se croisent pas entre elles, ne se rejettent dans aucun cas, mais présentent des exemples nombreux de soudures. Quelques failles, postérieures aux filons métallifères, leur font quelquefois éprouver des rejets ; mais ces failles sont toujours stériles.

La puissance des filons est très-variable. Lorsqu'ils sont simples, ils ont ordinairement de 3 à 4 mètres, et il n'est pas rare de les voir se renfler jusqu'à 8 et 10 ; lorsqu'ils se ramifient, la puissance des branches se réduit souvent à 2 mètres, quelquefois à un seul, mais la somme de ces branches constitue presque toujours un écartement plus considérable que celui des parties plus simples (Burgstadter, Rosenhofer). Dans les filons simples et puissants, la partie métallifère n'occupe ordinairement qu'une portion des filons, les salbandes prenant une épaisseur considérable.

La plupart des gîtes métallifères du Harz appartiennent à une seule et même période, contemporaine des éruptions amphiboliques et dioritiques, cette période ne devant pas être considérée comme un phénomène instantané, mais bien comme une époque de longue durée pendant laquelle ont eu lieu des éruptions analogues dans leurs produits, leurs formes et leurs influences. Il y a, en outre, des distinctions essentielles à établir entre les divers degrés de cette liaison géognostique qui subordonne les minerais à une classe de roches éruptives. Ainsi on peut distinguer :

1° Les minerais de fer oxydés, formant des *gîtes irréguliers*

Digitized by Google

de contact, immédiatement subordonnés aux roches amphiboliques. (Gîtes de contact de Lerbach à Altenau.)

2° Les minerais d'argent, argent antimonial, argent sulfuré, argent rouge, etc., accompagnés de galène argentifère et d'une grande quantité d'arsenic natif, ayant pour gangues le spath calcaire et le quartz avec géodes tapissées de silicates et de substances zéolithiques. Ces minerais et ces gangues remplissent les *filons* du territoire d'Andreasberg; ils sont postérieurs aux principales masses dioritiques et antérieurs à quelques autres.

3° Les galènes plus ou moins argentifères et les blendes accompagnées de pyrites martiales et cuivreuses, avec gangues de spath calcaire, spath ferrifère, quartz et baryte sulfatée. Ce sont les principaux filons du pays; ils sont concentrés dans le district de Clausthal et postérieurs aux principales masses amphiboliques de Lerbach et d'Altenau.

4° Les filons cuivreux, où la pyrite cuivreuse est presque isolée des autres minerais; les gangues sont quartzeuses, et l'on y trouve du spath-fluor en plus grande quantité que dans les autres. Ces filons cuivreux sont ceux de Lauterberg.

5° Enfin il y a encore au Harz quelques exemples de filons peu puissants, caractérisés principalement par la présence du sulfure d'antimoine. Les filons de Stollberg, remarquables par le spath-fluor qui domine souvent les autres gangues, appartiennent à cette cinquième catégorie, et leur position vers le contact du terrain schisteux traversé par des masses porphyriques éruptives, les assimile, sous le rapport des conditions de gisement, aux filons d'Andreasberg. Près de Wernigerode, les filons sont cobaltifères. Le plomb sélénié de Tilkerode se trouvait dans un gîte placé immédiatement entre une roche éruptive (hypersthène et labrador) et le terrain schisteux; outre ce plomb sélénié, on y a trouvé de l'or natif et du palladium en paillettes; la gangue était formée de spath calcaire et d'oxyde de fer.

Tels sont les gîtes principaux qui alimentent la production de ce district.

Digitized by Google

Les travaux souterrains du Harz se sont considérablement accrus en étendue et en profondeur depuis la description classique qui en a été publiée en 1815. La profondeur moyenne des puits de Clausthal dépasse aujourd'hui 500 mètres; le Samson, qui a dépassé 800 mètres, est actuellement le puits d'exploitation le plus profond. La grande galerie d'écoulement qui débouche à Grund sera bientôt remplacée par une autre de 16 000 mètres; enfin toutes les mines de Clausthal sont actuellement reliées par des galeries et des canaux souterrains et forment le plus bel ensemble de travaux qui ait jamais été exécuté.

Le travail du Harz peut être évalué d'après les chiffres suivants : La production annuelle en minerais triés (non compris les minerais de fer) est d'environ 1 000 000 de quintaux métriques, qui proviennent d'une extraction de minerais bruts d'environ 4 000 000 de quintaux. Il résulte des travaux de triage et de traitement mécanique environ 180 000 quintaux métriques de minerais en morceaux, provenant principalement du Rammelsberg, et 115 000 quintaux de schlicks, qui fournissent ensemble 31 000 quintaux de plomb et litharge, 3 000 quintaux de cuivre, 700 de zinc, 50 000 marcs d'argent et 11 marcs d'or.

La production de la fonte est de 600 000 quintaux métriques, celle du fer de 200 000.

Un des traits les plus intéressants de la richesse métallifère de l'Allemagne est la petite couche schisteuse métallifère connue sous la dénomination de *kupferschiefer*, et dont nous avons précédemment indiqué les conditions de gisement.

Les travaux d'exploitation ont surtout été développés aux environs d'Eisleben, Gerlstadt et Sangerhausen. On y extrait toute l'épaisseur de la couche dans laquelle se trouve disséminé, en veinules et en particules, un cuivre gris un peu argentifère. Par quintal de kupferschiefer on obtient en moyenne 2 kilog. de cuivre. On extrait également l'argent. Les produits, qui se sont

élevés, en 1806, jusqu'à 8 000 quintaux métriques de cuivre et 3 000 kilog. d'argent, ne sont guère aujourd'hui que de 4 000 quintaux de cuivre et 1 700 kilogr. d'argent.

Cette couche métallifère est parfaitement stratifiée et présente un exemple remarquable des sédiments dont le dépôt et le métamorphisme sont contemporains. La seule hypothèse probable, et par laquelle on puisse rattacher cette couche à la généralité des gîtes métallifères, est d'admettre que les émanations ont été produites dans les eaux qui déposaient les principes terreux. Il est à remarquer que presque tous les calcaires qui accompagnent le kupferschiefer sont à l'état dolomitique.

La *Silésie* est un district métallifère d'une grande importance. Les minerais s'y trouvent non-seulement dans les montagnes du Riesenbirge, de l'Eulengebirge et des Sudètes, qui en forment les hautes régions, mais aussi dans la partie basse, aux environs de Tarnowitz, point sur lequel une couche calcaire se montre très-souvent métallifère et contient des amas nombreux de plomb sulfuré, de fer oxydé et de calamine. Les mines de plomb les plus suivies dans cette couche s'étendent de Georgenberg à Benthen; les mines de fer s'étendent surtout au N. E. de Tarnowitz; les mines de zinc sont réparties au S. E. de Tarnowitz et près de Scharley, sur une longueur de 11 kilom. et une largeur de 7.

La mine de plomb de Tarnowitz produit 25 000 quintaux métriques de minerai, qui donnent à la fonte 19 000 quintaux de plomb et 1 500 marcs d'argent. Les mines de zinc produisent, en moyenne, 700 000 quintaux métriques de minerais, qui fournissent de 150 à 200 000 quintaux de métal. C'est le principal élément de cette fabrication en Europe.

PROVINCES RHÉNANES.

Le massif du terrain de transition, qui est traversé par le Rhin à la hauteur de Cologne, Bonn et Coblentz, et comprend

Digitized

les provinces du *Westerwald*, du *Taunus*, de l'*Eifel* et du *Hundsruck*, présente quelques exemples de gîtes assez remarquables.

Cette contrée n'offre pas, comme les précédentes, une forme déterminée, coordonnée à un point culminant ou à une crête de partage; c'est une surface inégale et ondulée, dont l'accidentation générale ne présente aucun trait d'ensemble. Les roches schisteuses en composent toute la surface, avec prédominance des schistes argileux à l'ouest et des grauwackes à l'est; les roches ignées, en masses clair-semées, ne constituent aucun de ces centres de soulèvement qui déterminent à la fois un caractère physique et les traits de direction générale, d'inclinaison et de succession des dépôts sédimentaires qui les enveloppent.

Les gîtes métallifères paraissent, en quelque sorte, partager cette absence d'unité et de centralisation des conditions physiques et géognostiques de la contrée. Ils se trouvent, comme par l'effet du hasard, dans telle montagne, dans telle vallée, sans qu'on puisse rattacher leur présence, soit aux masses éruptives, qui n'affleurent pas, soit à la forme physique, qui n'a aucun trait prononcé. Aussi trouve-t-on ces gîtes clair-semés se rapportant bien plus souvent aux types irréguliers qu'aux filons.

Le pays de Siegen, compris entre le Rhin et Cassel, est la partie de ce terrain de transition la plus riche en gîtes métallifères. Les minerais de fer, consistant en peroxydes, et surtout en fer spathique manganésifère, y constituent le trait principal de la richesse minérale. Ces minerais ont donné naissance à la fabrication directe des aciers dits aciers naturels. Les gîtes d'oxydes de manganèse, nécessaires à cette fabrication, se trouvent presque toujours liés aux gîtes ferrifères. Il existe, en outre, dans ce massif, une quantité très-considérable de filons contenant des minerais sulfurés, blende, galène, argentifère, pyrite cuivreuse, etc.

On peut classer tous ces gîtes métallifères en trois classes très-distinctes :

Digitized by

1° Les filons de fer spathique, filons puissants, dont le gîte du Stahlberg (planche XIV) est l'exemple le plus développé. Ces gîtes affectent souvent des formes et allures plus rapprochées de celles de filons réguliers. Ainsi, à Arnzau, près Linz, il existe un véritable filon de fer spathique dont la puissance varie de 2 à 12 mètres; il a été suivi en direction sur une longueur de plus de 200 mètres. Les environs d'Ucherath contiennent des filons de la même nature.

2° Les filons de blende et galène, qui sont les plus nombreux. En première ligne se trouvent ceux qui forment un faisceau si remarquable dans les environs d'Holzappel et d'Obernhoff, et s'étendent jusque vers Saint-Goar, de l'autre côté du Rhin. Beaucoup de ces filons, dont le Westerwald est sillonné, se lient aux fers spathiques : tels sont ceux du Schwabengrube, dans le Stahlberg; celui d'Arnzau, exploité pour les galènes qui accompagnent le fer spathique; ceux de la Louise, près Ucherath; ceux de l'Antonius, etc., aux environs de Siegburg. Ces filons sont très-remarquables par leur situation presque toujours concordante avec la stratification du terrain et les allures souvent curvilignes qui en résultent.

3° Les filons cuprifères, à gangues de quartz, constituent la troisième classe. Le plus célèbre de tous est celui de Rheinbreitbach, qui fournit de beaux échantillons de cuivre oxydulé capillaire et de cuivre phosphaté. Le minerai normal est un cuivre panaché mélangé de pyrite et de sulfure; dans quelques autres filons, c'est la pyrite cuivreuse qui domine, mais tous ont le quartz pour gangue presque exclusive.

Les filons sont presque tous concentrés dans les terrains de grauwackes et de schistes argileux; mais, au contact de ces terrains avec les schistes et calcaires anthraxifères, il existe des gîtes de nature toute différente : ce sont les hydroxydes de fer et les calamines. Ces gîtes traversent les provinces rhénanes des environs de Liége à Stalberg, et jusque vers Brilon, sur la rive droite du Rhin, se maintenant toujours dans la même zone géologique.

Le principal gîte calaminaire se trouve à Moresnet, entre Herbesthal et Aix-la-Chapelle : on le désigne sous le nom de la *Vieille-Montagne*. Ce gîte se présente sous la forme d'une vaste excavation ellipsoïdale, creusée dans un amas allongé, situé au contact des schistes anthraxifères et des calcaires carbonifères. Dans cet amas de 400 mètres sur 150 à 200 de largeur, la calamine chargée d'oxyde de fer forme des masses irrégulières, noyées dans des argiles délayables, jaunes, rouges, noires, rubanées, bariolées, sans stratification réelle. Le minerai proprement dit est jaune, compacte et criblé de géodes cristallines dans lesquelles se reconnaissent les prismes de la calamine et les rhomboèdres de la smithsonite.

Vers leurs contacts avec les roches stériles, les masses calaminaires affectent une structure bréchiforme très-prononcée. Elles contiennent des fragments anguleux de schiste, d'argile endurcie, appartenant évidemment aux roches encaissantes, et dont la présence jusque dans les masses centrales démontre que ce gîte est d'origine postérieure. Mais quels peuvent être les détails de cette origine? quel en est même le principe? Ce sont des questions auxquelles il est presque impossible de répondre si, après avoir étudié le gîte de Moresnet, on n'examine aussi les autres, afin de considérer le phénomène des gîtes calaminaires, non-seulement dans ses détails, mais encore dans son ensemble.

Le gîte de la Vieille-Montagne n'est pas isolé. Dans des positions identiques, c'est-à-dire vers le contact des schistes et des calcaires carbonifères, tantôt dans un des deux terrains, tantôt dans l'autre, quelquefois dans les deux à la fois, on trouve de nombreux indices et quelquefois d'autres gîtes calaminaires, toujours disposés entre les plans de stratification. Ainsi on rencontre ces calamines à Herrenberg, près Stolberg, où il a existé des exploitations assez importantes, et vers l'ouest, dans la vallée de la Meuse, à Engis, à Huy, à Verviers, à Corphalie. Tous ces gîtes affectent en réalité une disposition linéaire suivant la direction des couches schisteuses.

Digitized by Google

M. Davreux a bien défini le gîte de la Vieille-Montagne en le représentant, non pas comme un amas unique, mais comme résultant de l'accumulation sur un seul point d'un grand nombre de petits amas disposés irrégulièrement et enveloppés soit dans les calcaires dolomitiques, soit dans des argiles bolaires dont la variété noire rappelle beaucoup les caractères de l'ampelite alumineux. Ces amas ont souvent la forme de veines et de filons irréguliers ; nulle part ils n'ont l'apparence de couches.

La puissance et la richesse de ces gîtes est extrêmement variable. Tantôt ils se réduisent à des veines ou lits irréguliers interposés entre les couches, veines toujours apparentes par leurs couleurs ocreuses ; tantôt ces veines prennent de l'importance, se renflent et conduisent à de véritables amas, comme celui d'Engis qui a 10 mètres d'épaisseur, ou comme celui de la Vieille-Montagne qui en a 100. A Engis, ces gîtes traversent la stratification de plusieurs couches calcaires qui paraissent contenir ainsi des amas dans des fractures.

La teneur en zinc est également très-variable. Le minerai de la Vieille-Montagne, exploité à ciel ouvert, presque sans distinction, sort par un simple triage au titre de 35 pour 100. A Engis, le minerai trié et lavé, pour le débarrasser de l'argile, contient 25 pour 100. En beaucoup de points, il ne contient plus que quelques centièmes, les oxydes de fer venant en quelque sorte éliminer le silicate et le carbonate de zinc. Sur beaucoup de points, et notamment à Engis, Stolberg, Corphalie, la calamine contient souvent des sulfures, tels que la blende, la galène et la pyrite de fer.

Les gîtes calaminaires sont donc essentiellement irréguliers dans leurs formes et dans leur composition ; mais ils ont constamment la même position géologique. Ces plans de gisement des amas métallifères ne paraissent d'ailleurs justifiés par la présence d'aucune roche ignée postérieure aux roches stratifiées encaissantes : aussi les ingénieurs du pays les ont-ils souvent regardés comme de simples dépôts ou remblais intercalés dans des vides ou poches qui existaient dans le terrain, opinion qui sem-

ble souvent confirmée par l'apparence bréchiforme des amas. Si l'on vient cependant à discuter cette origine des gîtes par l'étude des roches qui les constituent et des roches qui les encaissent, on pourra rassembler un grand nombre de faits qui les distinguent des véritables minerais stratifiés, tels par exemple que les minerais de fer d'alluvion.

Il résulte d'un premier examen que ces minerais calaminaires sont postérieurs aux roches encaissantes, puisqu'ils en contiennent des fragments anguleux, véritables débris du toit et du mur. Il n'y a aucune trace de stratification horizontale comme dans les minerais alluviens ; les minerais sont cristallins, on y trouve des géodes, des druses comme dans les filons, et des zones ondulées parallèles aux contours des masses. Enfin les sulfures, tels que la galène, la blende, la pyrite martiale ou cuivreuse, sont des minerais que nous sommes habitués à attribuer aux phénomènes métamorphiques.

Les contours des grands amas calaminaires ne sont pas nettement définis comme ceux de cavités remplies par une action sédimentaire. Il y a le plus souvent pénétration, imbibition du minerai dans le terrain encaissant ; de telle sorte que les limites se pressentent par le mélange des éléments du toit et du mur. Cette pénétration s'oppose à toute assimilation avec les cavités remblayées, si fréquentes dans le terrain jurassique ; pour en apprécier l'origine, étudions les conditions dans lesquelles se présentent les roches encaissantes.

Ces roches sont toujours les schistes anthraxifères ou les calcaires carbonifères ; or, dans les deux cas, elles offrent des circonstances remarquables d'altérations métamorphiques, altérations qui sont ordinairement propres aux plans de contact de ces roches avec les roches ignées. Les calcaires sont massifs, cristallins et dolomitiques ; les schistes sont pénétrés de pyrites, et, en beaucoup de points, convertis en schistes alunifères ; souvent même on voit les roches encaissantes s'altérer et se modifier vers les contacts, au point qu'il y a souvent des passages entre elles et les minerais. Ainsi, au milieu du gîte de Moresnet,

Digitized by Google

les calcaires qui d'abord sont devenus durs et dolomitiques vers le contact, s'avancent dans la masse calaminaire et là se colorent, sont friables et contiennent une quantité notable de calamine, souvent jusqu'à 5 et 10 pour 100.

Si l'on considère la position fortement accidentée et toujours très-inclinée des couches du terrain anthraxifère, on concevra que le terrain, placé dans une position aussi anormale, a dû subir des ruptures en beaucoup de points, et que les plans de contact de deux roches aussi hétérogènes que les schistes et les calcaires devaient servir de clivages naturels. Or, le terrain disloqué se trouvant au-dessus du foyer souterrain, ces plans de rupture ont servi d'évents naturels, et il s'y est établi des solfatares métallifères dont les gîtes calaminaires, les schistes pyriteux alunifères et les dolomies sont aujourd'hui les diverses expressions.

Les calcaires ont été le siége principal de ces sublimations ; outre les calamines, ils contiennent, sur beaucoup de points du pays de Namur et de Liége, des gîtes de galène et de cuivre carbonaté, accompagnés de gangues caractéristiques, telles que le spath-fluor et la baryte sulfatée. Au contact de tous ces minerais, le calcaire se transforme constamment en dolomie ; et, comme aujourd'hui les idées théoriques sont assez positivement fixées sur l'origine des galènes, pyrites de cuivre, etc..., la concordance des caractères que prennent les roches encaissantes au contact des galènes ou des calamines devient encore une preuve de l'identité d'origine qui réunit tous les minerais de la contrée.

La majeure partie des minerais de fer exploités dans la vallée de la Meuse appartient à des gîtes irréguliers, dont beaucoup sont intimement liés aux gîtes de calamine. Ces minerais de fer, liés aux gîtes calaminaires, se trouvent surtout vers la rive gauche. Dans le canton de Héron, le fer hydroxydé constitue sept à huit filons verticaux, dont l'ensemble a plus de 1 000 mètres de longueur et dont la puissance varie de $0^{m},30$ à 2, 3 et jusqu'à 10 mètres. Ces filons, comme les calamines, traversent le cal-

Digitized by Google

caire et ses dolomies ; ils contiennent de la galène et du plomb carbonaté qui ont donné lieu autrefois à des exploitations assez actives ; on y trouve de plus de la calamine et de la blende.

La galène, le plomb carbonaté, la calamine, se retrouvent encore dans les minerais de Rocheux et des environs de Theux ; à Landenne on a exploité un filon rempli de calamine et de galène. Enfin on trouve, dans le pays de Liége, de la galène, de la calamine et surtout des oxydes de fer, presque partout où il existe des dolomies, et suivant toute la ligne qui sépare les ampelites alumineux du calcaire anthraxifère.

La disposition de ces terrains du pays de Liége et les conditions de distribution géographique des minerais qui s'y trouvent sont très-bien exprimées par cette note de MM. Lamine et Davreux : « Si l'on part des environs d'Ampsin qui se trouvent au « sud-est du terrain houiller, en se dirigeant au nord-ouest sur « Villers, de manière à couper les affleurements successifs des « terrains fortement inclinés, on rencontre : 1° une bande de « calcaire de 50 à 60 mètres, désigné sous le nom de *petit cal-* « *caire concomitant*, contenant des parties de dolomie et coquil- « lier à sa limite nord-ouest ; 2° une bande de 120 à 140 mètres « de schistes et de psammites micacés ; 3° trois petites couches « de minerai de fer oligiste, terreux, granuliforme, désigné « sous les noms de grosse mine (0^m,40 d'épaisseur), belle mine « (0^m,33), et petite mine (0^m,30) ; ces trois petites couches for- « ment, avec les schistes qui les accompagnent, un ensemble « de 40 mètres de puissance ; 4° un psammite très-quartzeux de « 10 mètres, propre à faire des pavés ; 5° une bande de psam- « mites et de schistes micacés de 40 à 50 mètres, contenant « une petite couche de calcaires à entroques ; 6° une large bande « de 250 à 300 mètres, composée de dolomies et de calcaires « anthraxifères : ce sont ces roches qui sont désignées par les « ouvriers du pays par la dénomination de *grands rochers des* « *alunières ;* 7° la zone métallifère, caractérisée par les minerais « de fer, zinc et plomb ; 8° l'ampelite alumineux ; 9° le terrain

« houiller proprement dit. Tout ce système de roches incline au « sud-est. »

Ainsi la position géognostique des minerais est fixe, et, quoique ces minerais soient postérieurs au terrain, quoiqu'ils appartiennent à la classe des gîtes irréguliers, les phénomènes générateurs, en agissant suivant un *clivage* bien déterminé du terrain, leur ont fixé une place où l'on peut les rechercher *à priori* et avec autant de certitude que peut en fournir l'étude géologique des terrains.

Si l'on compare les gîtes du pays de Liége à ceux dont les descriptions précèdent, on trouvera entre eux des différences prononcées et par l'irrégularité indéfinissable des formes de ces gîtes, et par leur position géognostique constante. On sera frappé de voir ces minerais dépendre en quelque sorte du terrain encaissant par leurs habitudes de gisement.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'AUTRICHE, DU PIÉMONT, DE L'ITALIE.

La partie méridionale de l'Allemagne renferme plusieurs districts métallifères d'une grande importance.

C'est principalement dans le Tyrol, la Bohême et la Hongrie que se trouvent les mines de l'Autriche ; ce pays peut être considéré comme celui de tous les États européens qui produit la plus grande quantité d'or et d'argent, les mines de la Russie étant presque toutes situées en Asie. L'étude de cette production présente donc quelque intérêt non-seulement à cause du gisement, mais encore sous le point de vue de l'exploitation.

A Bockstein, dans le Salzbourg, à Zell en Tyrol, on exploite des filons à gangue de quartz, avec schiste argileux provenant des débris du toit et du mur, qui contiennent de la pyrite aurifère, du mispickel argentifère, du cuivre gris argentifère et de l'argent sulfuré. On est arrivé à retirer avec avantage l'or de minerais qui n'en contiennent que de 0,000015 à 0,000006, et même encore au-dessous. Ainsi à Zell, de 50 000 quintaux de

Digitized by Google

minerai, on retire année commune 35 marcs d'or, c'est-à-dire que la teneur moyenne n'est que de 0,000004. L'argent contenu dans ces minerais est de six à sept fois la teneur de l'or, c'est-à-dire dans la proportion de 0,000025.

Cette loi ou teneur des minerais aurifères et argentifères du Tyrol doit être remarquée ; elle fera apprécier, lorsque nous citerons les circonstances de gisement et de richesse des minerais des Amériques, tout ce que l'art de l'exploitant a dû faire dans ce pays pour rendre possible l'extraction de quantités si minimes.

L'Autriche possède une partie des mines de la Bohême, situées sur le versant méridional de l'Erzgebirge. Ces mines, outre les métaux ordinaires, livrent au commerce une quantité considérable de smalt de cobalt (2 000 quintaux) et d'arsenic blanc. Cette partie de la Bohême alimente aussi cinquante hauts fourneaux ; mais le siége principal de la production du fer est la Moravie, la Styrie et la Carinthie. Cette dernière province produit en outre une quantité considérable de plomb extrait de gîtes irréguliers qui existent dans la montagne de Bleyberg.

Le mercure produit par l'Autriche est entièrement dû au gîte de cinabre d'Idria en Carniole.

Dans la Hongrie comme dans le Tyrol, le gisement des minerais d'argent paraît se confondre avec celui des minerais d'or ; Schemnitz et Kremnitz sont le centre du district de la basse Hongrie, le plus riche de tous ; la haute Hongrie forme un second district comprenant les établissements de Schmolnitz et Arandjydka ; le troisième est la contrée de Kapnick et de Nagy-Bania, sur la frontière de Transylvanie ; le Bannat, voisin de la Turquie, forme le quatrième : tous fournissent des minerais cuivreux argentifères.

Le gisement de ces minerais est en filons puissants, mais peu continus, assez généralement parallèles entre eux, coupant le terrain encaissant sous des angles de 40 à 45 degrés, et s'intercalant quelquefois entre les plans de la stratification des couches. Le terrain encaissant se compose de porphyres souvent amphi-

boliques, liés à des syénites qui passent aux granites. Les gneiss, micaschistes et calcaires semblent subordonnés aux roches ignées, tant celles-ci acquièrent de puissance.

Les filons de Schemnitz ont rarement au-dessous de 6 à 8 mètres et atteignent en quelques points jusqu'à 40 mètres de puissance. Les gangues sont : des quartz drusiques, cariés, ferrugineux ; de la chaux carbonatée ferrifère, du sulfate de baryte, quelquefois de la chaux fluatée.

Les minerais disséminés dans ces gangues sont : de l'argent sulfuré mélangé d'argent natif et d'une quantité variable d'or ; du cuivre gris, du carbonate de manganèse, de la galène argentifère, de la blende, des pyrites de cuivre et de fer. Toutes ces substances se trouvent isolées ou mélangées en toutes proportions, de manière à fournir des minerais dont la richesse varie depuis 60 pour 100 d'argent jusqu'au titre le plus pauvre. L'or accompagne presque toujours l'argent dans une proportion variable.

Les filons de Kremnitz peuvent être assimilés aux précédents ; on a seulement signalé, dans les gangues, une prédominance plus notable du quartz, et dans les minerais une plus grande proportion d'or, ainsi que la présence de l'antimoine sulfuré. Les filons de Kapnick renferment plus de chaux fluatée que ceux des autres localités ; ils contiennent en outre beaucoup d'arsenic sulfuré jaune et rouge.

Les principales exploitations sont groupées autour de la ville de Schemnitz et sont desservies par des machines à colonne d'eau d'une puissance et d'une exécution remarquables. Dans ces usines, qui sont exploitées par le gouvernement autrichien, on a commencé, il y a plus de cinquante ans, le travail souterrain le plus gigantesque : c'est une galerie d'écoulement, dite de Joseph II, qui a son embouchure aux bords de la Gran et se dirige par les mines de Hodritz vers celles de Schemnitz ; sa longueur sera de 16 000 mètres. La production des quatre districts métallifères de la Hongrie et de la Transylvanie est actuellement de 5 000 marcs d'or et de 75 000 marcs d'argent, aux-

Digitized by Google

quels se joignent 30 000 quintaux de cuivre et 25 000 de plomb.

Les Alpes ne renferment pas des gîtes métallifères proportionnés à l'importance de leur accidentation. Diverses exploitations ont été ouvertes dans le Valais, dans les Grisons, etc., sans mériter d'être classées dans la production, et ce n'est guère que dans les Alpes piémontaises que nous pouvons trouver quelques gîtes qui méritent notre attention. Ces gîtes sont généralement liés à la sortie des roches serpentineuses ; les minerais de fer y sont en première ligne. A Traverselle dans la province d'Ivrée, à Cogne dans la province d'Aoste, des masses de fer oxydulé fournissent environ 100 000 quintaux de minerai par année.

Divers filons des Alpes piémontaises, les uns contenant de la galène argentifère, les autres exploités pour la pyrite aurifère, nous offrent quelque intérêt par leur proximité et parce que Pesey, où se trouvent les mines principales, fut sous l'Empire le berceau de notre école des mines.

Les seules mines d'argent et de plomb en exploitation dans les États sardes sont celles de Pesey et Macot, dans la Tarentaise, celle de Saint-Jean de Maurienne et de Tende. La mine de Pesey, découverte en 1714, fut d'abord exploitée pour le compte d'une compagnie anglaise à laquelle succéda une compagnie de nationaux, puis le gouvernement français ; elle appartient aujourd'hui à l'État, qui y occupe 250 ouvriers. La mine de Macot n'a été découverte qu'en 1807 ; elle a toujours été exploitée au profit de l'État ; elle occupe 230 ouvriers. Enfin la mine de Saint-Jean-de-Maurienne, qui n'est exploitée que depuis une vingtaine d'années environ, et qui n'a jamais employé plus de 20 à 30 ouvriers, est aujourd'hui presque entièrement épuisée.

Les minerais de Pesey, de Macot et de Saint-Jean-de-Maurienne se transportent en totalité à la fonderie royale d'Albertville. On en retire, année moyenne, 600 kilogrammes d'argent, 250 quintaux de *litharge*, et 2 500 quintaux de plomb. La valeur totale de ces produits est d'environ 300 000 fr.

Les filons de pyrites aurifères actuellement exploités dans les

Digitized by Google

vallées d'Anzasca, de Toppa et d'Antrona, dans la province de Pallanza, sont concédés à vingt-cinq entreprises différentes; 400 ouvriers y sont employés pour abattre le minerai, l'extraire de la mine, le trier, le transporter aux moulins d'amalgamation et le triturer. Les plus importantes de ces vingt-cinq concessions sont celles de Peschiera, employant 115 ouvriers, et de Minerone di Sotto, qui en occupe 65; toutes deux sont dans la vallée d'Anzasca.

On exploite encore, pour le compte du gouvernement, un autre filon aurifère à Alagna, dans la vallée de Sesia, province de Novarra.

Du Piémont nous sommes naturellement conduits en Toscane, dont nous avons déjà décrit les mines principales : monte Catini et Campiglia pour les mines de cuivre; l'île d'Elbe pour les mines de fer.

La chaîne métallifère de la Toscane contient un grand nombre de gîtes liés aux roches serpentineuses qui occupent une place importante dans l'accidentation du sol. Ces divers gîtes appartiennent à quatre catégories distinctes, qui sont :

1° Des gîtes de contact, consistant en amas et filons irréguliers, placés suivant les plans de contact des serpentines et des gabbros altérés; ces gîtes pénètrent même dans les masses serpentineuses, et y constituent des veines qui peuvent être considérées comme les fissures de retrait de ces masses. Dans toutes les parties de la chaîne, des émanations exclusivement cuprifères ont ainsi succédé à la sortie des serpentines, et sur quelques points les minerais sont même directement contenus dans les roches éruptives.

2° Des dykes éruptifs composés d'amphiboles, d'hématites et d'yénites, qui ont soulevé et fracturé le sol du Campigliese. Ces dykes sont métallifères; ils contiennent du cuivre pyriteux, du fer sulfuré, de la galène et de la blende, disséminés de telle sorte que les gangues et les minerais sont évidemment contemporains. Ces dykes s'isolent des éruptions serpentineuses par des directions spéciales.

3° Des amas et dykes éruptifs composés presque exclusivement de fer à tous les degrés d'oxydation. Les minerais de fer de l'île d'Elbe forment le type de cette classe de gîtes, également représentée dans l'intérieur de la chaîne; leur sortie a déterminé des soulèvements qui sont parallèles à ceux du Campigliese.

4° Des couches quartzeuses contenues dans la formation crétacée inférieure du Massetano et des environs de Montieri. Ces couches sont imprégnées de veinules et de particules métallifères suivant une zone dirigée de Montieri à l'Accesa; leur développement concorde toujours avec un métamorphisme très-prononcé de toutes les couches de terrain, et parmi les effets de ce métamorphisme on remarque surtout l'intrusion du quartz et la transformation des schistes en alunites. Les minerais disséminés dans ces couches quartzeuses comprennent tous ceux de la série des gîtes précédents : le cuivre pyriteux, le cuivre gris, la blende, la galène, des sulfures multiples argentifères, enfin le fer oxydé et pyriteux. Les phénomènes prolongés qui seuls ont pu donner naissance à cette zone métallifère comprennent donc, suivant toute probabilité, la plus grande partie de la durée de l'action génératrice.

Ces quatre types, auxquels nous rapportons ainsi tous les gîtes métallifères de la Toscane, sont, en réalité, liés entre eux par des gîtes de passage. Néanmoins il est à remarquer qu'à part le type des gîtes placés au contact des serpentines, gîtes qui constituent un phénomène général dans la chaîne, les autres types se sont développés dans trois districts séparés où ils dominent et qu'ils caractérisent d'une manière différente.

SUÈDE ET NORVÉGE.

Le vaste massif scandinave qui constitue la Suède et la Norvége est, en grande partie, composé de terrains schisteux et

Digitized by Google

de calcaires de transition accidentés par des granites, des porphyres et des roches amphiboliques. Les gîtes métallifères y sont très-multipliés, et ils auraient plus d'importance encore si les exploitations n'étaient entravées par la difficulté des transports.

Les roches amphiboliques paraissent avoir été, en Scandinavie comme en Toscane, le principal véhicule des émanations métallifères; elles y servent souvent de gangues aux minerais de cuivre et de fer. Ainsi la production du cuivre est due en grande partie au célèbre gîte de Fahlun en Dalécarlie; c'est un amas vertical et allongé de fer sulfuré, se ramifiant dans des roches amphiboliques qui l'accompagnent et qui lui servent même de gangue ainsi que le quartz. La zone extérieure de cet amas, découvert sur une distance de 400 mètres, est mélangée de pyrite cuivreuse, but de l'exploitation établie aujourd'hui à une profondeur de 350 mètres; ce minerai ne contient, en moyenne, que 2 ½ à 3 pour 100 de cuivre. Il existe en Norvége d'autres gîtes analogues à celui de Fahlun; mais leur position est généralement d'un abord difficile. Une compagnie anglaise en a longtemps exploité un près du cap Nord, malgré l'intensité du froid.

Cette partie de l'Europe est une des plus riches en minerai de fer, dont l'état minéralogique est presque toujours l'oxydule. M. Élie de Beaumont a fait remarquer que tous ces gîtes étaient disposés suivant une zone qui traverse la contrée, depuis le lac Onega jusqu'à l'angle S. O. de la Norvége. Suivant cette longueur, les gîtes de fer oxydulé sont souvent accompagnés de porphyres amphiboliques qui, dans beaucoup de cas, leur servent de gangues. Dans la montagne de Taberg, une masse de fer oxydulé est enclavée dans l'amphibole, mélangée avec elle, et ce mélange paraît avoir constitué, comme en Toscane, une véritable roche éruptive. L'amphibole est encore l'annexe caractéristique des minerais de cobalt de Tunaberg et des pyrites magnétiques qui les accompagnent.

Les mines de plomb et d'argent représentent une période mé-

Digitized by Google

tallifère très-distincte, et leur gisement doit être rapporté aux filons : telles sont les mines de Sahla et celles de Kongsberg, mentionnées dans le chapitre précédent.

M. Daubrée, auquel nous devons une description intéressante des gîtes de la Suède et de la Norvége, en résume ainsi la classification.

Les gîtes, exploités dans les deux royaumes, peuvent être partagés en cinq catégories :

1° Les dépôts ferrifères, qui aujourd'hui encore continuent à se former dans le sein des marais et des lacs (*myrmalm*, *seemalm*) ;

2° Les filons proprement dits (*gaenge*) :

3° Les amas de contact situés vers la jonction des terrains de transition et des roches ignées ;

4° Les amas incorporés dans les roches ignées telles que les amphibolites ;

5° Les amas enclavés et intimement soudés dans le gneiss.

Parmi ces différentes formes, c'est la dernière qui est, sans comparaison, la plus fréquente ; plus des trois quarts des richesses métallifères de la Suède consistent en amas enclavés dans le gneiss, et nulle part sans doute en Europe les dépôts de cette sorte ne sont aussi nombreux et aussi développés.

Les principaux districts des mines sont, en Suède :

1° La Laponie de Torneo et celle de Luleo. Parmi les nombreux amas de minerai de fer que renferment ces provinces, ceux de Gellivara, de Kierunavara et de Luossavara dépassent, par leurs dimensions gigantesques, tous les autres dépôts du même genre exploités en Europe. Il y a aussi dans les mêmes districts un assez grand nombre de gîtes de cuivre ; plusieurs d'entre eux, près du Sulitelma, renferment de la galène argentifère.

2° Il existe dans l'Herjedal des mines de cuivre et de fer qui se relient au groupe de celles qui sont exploitées principalement pour le cuivre en Norvége, dans le massif du Dower, aux environs de Roraas, et jusque dans la contrée de Trondhjem.

3° Au sud des mines de cobalt de Loos, à Helsingland en

Dalécarlie, et surtout dans les environs de Fahlun, de Grandjarde, de Garpenberg et de Norberg, on trouve une agglomération d'un grand nombre de gîtes de fer et de cuivre, dans lesquels il existe du plomb argentifère. Ce groupe, qui s'étend jusque sur une partie de la Westmanie, et qui comprend les filons de plomb et d'argent de Sahla, est, avec celui de la Laponie, le plus riche de la Suède.

4° Les gîtes de la Wermlandie, particulièrement concentrés aux environs de Philippstadt, et ceux de la Néricie, sont presque exclusivement exploités pour le fer, excepté les mines de Vena, aujourd'hui les plus importantes du royaume pour l'extraction du cobalt. Au sud-ouest de celles-ci, en Dahlsland, se trouvent quelques mines de fer et de plomb argentifère.

5° L'Uplande et la partie adjacente de la Sudermanie renferment des mines de fer importantes dont les principales sont celles de Dannemora.

6° Les environs de Tunaberg présentent, dans un cercle restreint, une association remarquable de minerais de fer, de cuivre, de cobalt, de plomb et d'argent.

7° Enfin, au sud du groupe précédent, il n'y a guère à citer que les mines de fer du Taberg en Smolande et celles d'or d'Eidsfoss, depuis longtemps abandonnées. Le minerai de fer, qui se précipite journellement encore dans le sein d'un grand nombre de lacs, est particulièrement abondant en Smolande.

En Norvége, les principaux groupes métallifères sont :

1° Les mines de cuivre de Kaafjord et de Raipas, en Finmark, non loin du 70e degré de latitude, les plus septentrionales du monde, et qui, depuis quelques années, sont très-productives.

2° La province méridionale du Trondhjem renferme différents gîtes de cuivre et de fer ; les amas de Roraas sont aujourd'hui, avec les filons du Finmark, les mines de cuivre les plus activement exploitées en Norvége. Le fer chromé est exploité dans la contrée de Roraas, particulièrement à Tonset.

3° Il a existé, dans la haute Tellemarken, des mines nom-

Digitized by Google

breuses de cuivre et de fer, qui ont été principalement travaillées dans le dix-septième et le dix-huitième siècle.

4° Les gîtes de fer, si répandus en Suède, ne sont vraiment abondants en Norvége qu'aux environs d'Arendal, dans une zone étroite qui longe la mer.

5° Dans la province de Buskerud, non loin de Christiania, se trouvent les célèbres mines d'argent de Kongsberg et celles de cobalt de Modum.

Les petits gîtes exploités pour le plomb, l'argent, le cuivre et le fer, dans le terrain de transition de Christiania et près de Skeen, n'ont que peu d'importance. Un assez grand nombre de mines, aujourd'hui abandonnées, sont disséminées dans le sol de la Norvége méridionale.

Les observations de MM. Daubrée et Durocher sur ces diverses mines du massif scandinave permettent de suivre tous les détails de leur gisement et de reconnaître que, dans un grand nombre de cas, les roches granitiques sont intimement liées avec les minerais.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'ESPAGNE.

L'Espagne a occupé un rang des plus importants dans la production des métaux ; depuis vingt ans elle s'efforce de reconquérir ce rang et de tirer parti des ressources que la nature semble avoir prodiguées à plusieurs de ses provinces. M. Leplay a tracé, il y a quinze ans, un tableau intéressant de la plus grande partie de ces ressources, qui, suivant ses prévisions, se sont développées depuis par des entreprises nombreuses, et ont amené des découvertes nouvelles. Dans les districts d'Adra, Almeria, etc., la production s'est élevée à 500 000 quintaux métriques de plomb; la Sierra d'Almagrera produit aujourd'hui pour 8 millions d'argent, et la découverte du filon d'Hiendelencina, dans la Sierra de Guadalajara, donne des espérances d'une richesse analogue.

Digitized by Google

Dans le district du nord de l'Andalousie et de l'Estramadure, les filons de Guadalcanal, de Rio-Tinto, de Linarès, de la Sierra de Los-Santos, etc., sont explorés par des travaux dont l'ensemble pourra bientôt arriver à une production notable. Almaden, le plus beau gîte cinabrifère du globe, est aujourd'hui étudié de manière à promettre pour l'avenir des développements nouveaux. Les calamines de Riopar alimentent actuellement une belle usine; enfin, les éléments de la fabrication du fer, qui abondent en Espagne, commencent à être mis en valeur d'une manière plus générale que par le passé.

La production de tous ces métaux, bien qu'elle atteigne aujourd'hui une valeur annuelle de 35 à 40 millions, est encore loin de se trouver en rapport avec la richesse minérale de l'Espagne. Est-il besoin de signaler les causes qui l'entravent? Le manque de routes, auxquelles ne supplée aucune voie navigable de quelque importance, est la plus grande plaie du pays. Les agitations politiques ont aussi retardé le succès de nombreuses entreprises; mais, en dehors de ces agitations qui, au premier abord, semblent seules constituer l'histoire de l'Espagne, est une nation intelligente et laborieuse, qui surmontera toutes les entraves, et qui trouvera dans les mines des éléments précieux pour le développement de son industrie.

Le terrain de transition est en Espagne le terrain métallifère par excellence; tous les gîtes précédemment indiqués en font partie. Les minerais de chaque district ont cependant des caractères spéciaux qui semblent en rapport avec des variations dans les roches éruptives. Ainsi des roches serpentineuses paraissent avoir imprimé aux gîtes plombifères de la Sierra di Gador des caractères de composition, et surtout des caractères de formes tout à fait particuliers; tandis que les gîtes qui se rattachent aux porphyres amphiboliques et feldspathiques ont pour cachet spécial : la forme de filons, la richesse en argent des galènes, et la dissémination fréquente de l'argent à l'état de sulfure ou de chlorure.

Le district de la Sierra-Morena, comprenant le nord de l'An-

Digitized by Google

dalousie, une partie des provinces de l'Estramadure et de la Manche, constitue la plus vaste surface de ces terrains de transition, celui où les phénomènes métallifères paraissent à la fois les plus étendus et les plus variés. On y retrouve tous les éléments de composition du Harz, de l'Erzgebirge, des Vosges, de la forêt Noire, du Cornwall et de tant d'autres districts métallifères; les formes offrent elles-mêmes des analogies remarquables. Les dômes arrondis et culminants, centres d'éruption et de soulèvement, où l'on est certain de rencontrer les porphyres, rappellent en plus d'une localité les ballons des Vosges et de certaines parties des provinces rhénanes; tandis que les crêtes découpées et peu élevées de la Sierra proprement dite, composées de porphyres, de quartzites et de schistes qui dominent les plateaux granitiques moins accidentés, offrent une analogie frappante avec l'Erzgebirge.

Ces caractères sont encore confirmés par l'existence de mines, plus nombreuses, il est vrai, que productives, et dont l'importance n'est, en beaucoup de points, attestée que par la tradition des exploitations passées dont on voit encore les haldes et les déblais. Toutefois, et indépendamment des travaux existants et qui donnent actuellement de grandes espérances, Almaden est là pour attester la fécondité de la période métallifère.

Nous avons décrit précédemment les caractères du gîte d'Almaden qui se rapporte aux filons de contact. La production de ce gîte, qui tient depuis longtemps le monopole de la production, s'est élevée à 20 000 quintaux métriques de mercure.

Dans ce même district se trouvent les filons argentifères de Guadalcanal, ceux de Los-Santos, les filons cuprifères de Rio-Tinto, enfin ceux de Linarès. A ces produits il faut ajouter des quantités considérables de calamine, exploitées principalement dans la province de Santander et exportées pour l'Angleterre et la Belgique.

Voici quels sont actuellement les éléments principaux de la production des métaux en Espagne :

Argent (Sierra d'Almagrera)	170 000	marcs.
Mercure (Almaden)	20 300	quintaux.
Plomb (Adra, Linarès, Lorca, etc.)	500 000	—
Fer et fonte moulée (Marbella, Asturies, Guipuscoa, Galice, Pedroso, etc.)	80 000	—

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'AMÉRIQUE MÉRIDIONALE.

L'Amérique méridionale, cette contrée à laquelle les phénomènes volcaniques ont imprimé une si grande unité de constitution, nous présente les gîtes métallifères, et surtout ceux des minerais d'or et d'argent, sur une échelle des plus vastes. Dans la chaîne des Cordillères, cette récente formation de minerais domine toutes les autres formations métallifères, de même que les trachytes et les volcans modernes ont dominé tous les caractères de constitution physique et géognostique imprimés à la contrée pendant les périodes précédentes.

Le développement des minerais argentifères a masqué d'autant plus complétement les autres formations de minerais, que la plupart des gîtes métallifères dont les conditions seraient analogues à celles de l'Europe sont rendus absolument inexploitables par le prix élevé de la main-d'œuvre, les difficultés des transports et l'absence de combustible. On ne peut guère exploiter en Amérique que les métaux précieux, faciles à traiter par l'amalgamation, dont la réduction exige peu de combustible, dont le transport soit peu coûteux comparativement à leur valeur, ou dont le prestige ait facilité l'exploitation en appelant les capitaux par l'espoir d'un bénéfice immédiat. On a donc laissé de côté les oxydes d'étain, les pyrites cuivreuses, les galènes, les cuivres gris, dont les gîtes sont aussi bien représentés dans les Cordillères que dans la plupart des districts métallifères de l'Europe, et l'on s'est occupé exclusivement de l'or, du pla-

Digitized by Google

tine et des nombreux minerais d'argent qui constituent des gîtes si puissants et si multipliés.

Les mines des Andes Cordillères produisent beaucoup moins par la richesse des minerais que par l'abondance et la puissance des gîtes, et les facilités qu'on trouve dans l'extraction et l'abatage. Sous le rapport de la richesse, il n'y a aucune différence réelle entre les minerais du nouveau monde et ceux de l'Europe; mais, par leur grand développement, les formations de métaux précieux s'y présentent mieux définis et plus complétement caractérisées.

Ainsi l'or et les minerais d'argent qui, dans les filons de Transylvanie, semblaient représenter une seule formation métallifère, en forment deux très-distinctes dans l'Amérique méridionale. Les montagnes du Brésil et de la Californie peuvent être regardées comme constituant les types de la formation aurifère, tandis que les Andes du Mexique et du Chili présentent ceux de la formation argentifère. Ces deux formations sont réunies, quoique encore distinctes dans les Andes du Pérou. Nous laisserons de côté les gîtes des autres métaux, bien qu'en beaucoup de points ils présentent de l'importance, parce qu'ils ne nous apprendraient aucun fait nouveau. Bornons-nous à mentionner le cinabre exploité à Juan Cavelica et les mines de cuivre de la vallée de Coquimbo, au Chili, dont les minerais sont transportés en Angleterre pour y être traités; les mines de cuivre natif du lac Supérieur, les mines de plomb du Missouri, etc.

Les roches ignées pourraient, sans aucun doute, fournir, dans les districts métallifères de l'Amérique méridionale, comme dans ceux de l'Europe, de précieuses indications pour caractériser et classer les gîtes métallifères. M. de Humboldt a signalé, le premier, la liaison qui existe entre les deux séries de phénomènes, et a désigné sous le nom de porphyres métallifères les porphyres qui accompagnent constamment les gîtes de minerais; il a de plus indiqué des différences d'âge essentielles dans la série de ces porphyres, distinguant des porphyres

non métallifères anciens qui diffèrent des autres par leurs caractères minéralogiques ; il a signalé surtout une liaison intime entre les porphyres qui accompagnent ordinairement les mines d'argent et les trachytes qui leur sont superposés. M. Domeyko, dans un mémoire sur le Chili, a fait ressortir la distinction qui existe entre les roches granitoïdes, liées aux gîtes aurifères, formant les régions les plus basses des côtes occidentales, et les roches porphyroïdes (porphyres feldspathiques ou quartzifères, diorites, eurites, etc.), plus directement en relation avec les minerais de cuivre, tels que les cuivres natifs, carbonatés, sulfurés, chlorurés de Coquimbo, les cuivres gris argentifères, enfin les argents natifs ou amalgamés, l'argent sulfuré, l'argent rouge et chloruré, qui terminent la série. Il est évident qu'il reste encore à établir des distinctions d'âge et de caractères entre les divers termes de cette série porphyrique, de même qu'entre les termes successifs de la série métallifère. L'existence certaine de ces lois d'apparition successive et parallèle des divers termes des deux séries résulte des conditions de gisement des gîtes principaux, et nous signalerons seulement les distinctions minéralogiques qui peuvent servir à les établir.

Les minerais d'argent de l'Amérique méridionale sont souvent aurifères et indiquent ainsi une liaison réelle entre les minerais des deux espèces ; mais l'or n'y apparaît que comme annexe et en très-faible quantité. Dans tous les filons des Cordillères, où la pyrite de fer est mélangée de blende, galène, cuivre sulfuré, cuivre gris argentifère, sulfure d'argent, argent natif, l'argent est le minéral caractéristique ; mais les mêmes contrées renferment aussi de véritables gîtes de minerais d'or où ce métal est isolé de l'argent.

La pyrite de fer est le minerai principal de ces gîtes, car les gangues de l'or, de même que celles de l'argent, sont en partie métallifères ; le fer hydraté, également très-fréquent, paraît ne devoir son origine qu'à la décomposition de pyrites préexistantes. La blende, le sulfure d'antimoine, sont aussi exploités en

Digitized by Google

plusieurs points comme minerais aurifères qui ont eux-mêmes le quartz pour gangue; quant à la forme des gîtes, elle paraît entièrement se rapporter aux filons. Dans les mines de Marmato, par exemple, sur le versant du Rio-Cauca, on extrait l'or de pyrites qui constituent des filons puissants, nombreux, bien réglés et tous dirigés E. O. L'or s'y trouve quelquefois en particules visibles; mais, le plus souvent, non-seulement on ne le distingue pas, mais encore les essais chimiques en révèlent à peine les traces. M. Boussingault rapporte que l'on trouve accidentellement, en brisant les pyrites, des groupes de cristaux d'or; mais que ce métal y est inégalement disséminé, très-peu abondant, et que le travail n'est productif qu'en raison de l'abondance des pyrites et de leur extraction facile. Sa proportion dans la pyrite pure paraît comprise entre $\frac{1}{5000}$ et $\frac{7}{5000}$.

Le terrain des pyrites aurifères appartient à la formation de porphyres et diorites métallifères des mines de la province d'Antioquia; c'est de la destruction de gîtes analogues que résultent les alluvions aurifères connues en un grand nombre de points. Ces alluvions, situées vers la base des Cordillères, sont souvent très-difficiles à exploiter par suite du manque d'eau et n'entrent réellement pas dans la production en proportion de leur importance.

BRÉSIL. PROVINCE DE MINAS-GERAES

Les mines du Brésil sont concentrées principalement dans la province de Minas, dont la constitution géologique présente des particularités remarquables. Cette contrée très-montagneuse est principalement composée de terrains de transition, ou du moins présumés tels, dont les couches sont généralement accidentées, mais beaucoup moins inclinées que dans les chaînes de montagnes dont les axes sont formés par des roches cristallines.

Les roches éruptives n'y apparaissent qu'en dykes ou en

monticules isolés; elles semblent avoir pénétré le terrain, en avoir métamorphisé l'ensemble et l'avoir accidenté en détail, plutôt que l'avoir soulevé en masse par une de ces grandes révolutions qui impriment aux contrées cette unité de constitution physique qu'on remarque dans les Cordillères et dans toutes les grandes chaines. Cette partie du Brésil a été sillonnée par des soulèvements plus anciens que celui des Andes, et son épaisseur semble avoir été soumise à une action générale et prolongée de la part des roches éruptives qui en ont modifié toutes les roches constituantes. Les points culminants du centre s'élèvent à 1800 mètres environ et sont encore formés de roches stratifiées; c'est seulement dans les vallées et dans les nombreuses déchirures que présente cette contrée fortement ondulée qu'on voit les contacts des couches et les roches ignées qui les pénètrent. La présence souterraine de ces roches se fait surtout remarquer par le faciès métamorphique des terrains stratifiés et par leur propriété presque universellement métallifère, sans que les gîtes qui s'y trouvent affectent les formes définies de filons ou de stocwerks.

Les terrains qui constituent la contrée sont, à partir de la base : le gneiss, qui forme la partie inférieure des vallées les plus profondes, et les quartz stratifiés, parmi lesquels le quartz chloriteux (itacolumite) atteint des puissances énormes. Ces roches quartzeuses, très-fréquentes au Brésil, déterminent en quelque sorte, par leur développement inusité, un des traits distinctifs de la composition du pays; elles paraissent appartenir à des grès métamorphiques et forment diverses séries d'alternances avec des micaschistes, des stéachistes blanchâtres ou rougeâtres et des schistes argileux. Dans les régions supérieures, ces roches quartzeuses se pénètrent, en beaucoup de points, de fer olygiste, et constituent les roches que l'on a appelées itabirite et yacotinga, suivant qu'elles sont grenues ou compactes; enfin la série se termine par de véritables grès à éléments fragmentaires, qui forment les points culminants de la province de Minas.

Digitized by Google

Ce terrain est, ainsi que nous l'avons dit, ordinairement accidenté dans sa stratification, mais à un tel point que, dans la plupart des vallées, on ne voie, de chaque côté, la série des alternances à des niveaux à peu près correspondants. Accidentellement, les roches ignées, représentées par des granites à grains fins et des porphyres amphiboliques, apparaissent en dykes et sont accompagnées de quartz en filons.

Le caractère le plus saillant et le plus intéressant de l'ensemble des roches stratifiées, c'est que toutes sont métallifères. Il semble que la masse entière ait été soumise à une action de pénétration générale; ces principes métallifères deviennent quelquefois tellement dominants, qu'ils ont masqué, en quelque sorte, le caractère premier des roches; le quartz a surtout une grande aptitude à se pénétrer des éléments métalliques.

Le minerai le plus ordinaire est le fer à l'état de fer olygiste, et quelquefois à l'état de pyrite aurifère; viennent ensuite l'oxyde ou le carbonate de manganèse, l'or natif et ses annexes.

La généralité de dispersion de l'or est telle, que, dans certains pays de mines, une roche stratifiée quelconque, broyée et lavée, fournit de l'or. Enfin l'or est concentré en plusieurs points de ces mêmes roches, surtout lorsqu'elles sont chargées de fer olygiste et de manganèse; il y forme des gîtes de contact qui ont pu être exploités directement par travaux souterrains.

A Gongo-Socco, à Villarica, à Moroveilio, à Taquary, on exploite ainsi, pour l'or qu'elle contient, la roche dite *Yacotinga*, jaspe rougeâtre, schisteux, dont les feuillets sont enduits de fer olygiste. On exploite également le grès manganésifère et, sur quelques points, à Taquary, par exemple, des schistes blancs talqueux et des schistes argileux ardoisiers en contact avec l'yacotinga; ces grès et schistes contiennent l'or intercalé en feuillets dans les plans de stratification, ou, dans certaines fissures, en rameaux cristallins. Le carbonate de manganèse est du reste le meilleur guide pour cette recherche directe de l'or.

Rien n'est plus variable que la proportion d'or que contiennent ces roches; souvent une journée seule compense des travaux restés stériles pendant des semaines. En 1837, la compagnie impériale de Gongo-Socco, qui est la principale, a extrait 18 000 tonnes de minerai, qui ont produit 700 kilogr. d'or; ce qui ne fait que $\frac{1}{26000}$ pour la teneur moyenne du gîte, c'est-à-dire environ 100 grammes d'or par mètre cube de minerai. Six autres compagnies ont produit, dans des conditions analogues, 950 kilogr. d'or dans la même année; ce qui porte à 3 millions la valeur totale produite par le district de Gongo-Socco dans la période la plus active de ses exploitations.

Les autres exploitations du Brésil sont établies sur les sables des rivières ou sur des alluvions anciennes, enrichies par l'action érosive des eaux sur des gîtes analogues à ceux de Gongo-Socco. Toutes ces alluvions contiennent des quartz ferrifères et des grès métamorphiques. Les mêmes sables renferment à la fois l'or, le palladium, le platine, l'osmium, l'iridium et le diamant, à Rio-Guarahi, Rio-Abaete, Tejuco, Corrego-das-Lagens. M. Pissis a observé que toutes les rivières dont les alluvions sont aurifères et gemmifères, dans le sud de la province de Saint-Paul, ne le sont qu'après avoir quitté une formation d'argile schisteuse et de calcaires supérieurs aux grès, et après avoir traversé les grès qui se rapportent à l'itacolumite.

Dans plusieurs cas, on a trouvé le diamant directement engagé dans un quartz blanc, grenu, qui lui servait de gangue, notamment dans les grès de Serra-Grammangaa. Quant aux autres gemmes, telles que les topazes, si communes au Brésil, l'euclase et le béril, elles se trouvent à la fois roulées et directement engagées dans des bancs d'itacolumite fortement chargés de talc, de chlorite et d'oxyde de manganèse. Ces gemmes sont logées dans des druses talqueuses, en cristaux, confusément mélangés de cristaux de quartz blanc ou améthysé. C'est surtout entre Villarica et la chaine de Dios te Livre que se trouvent les gemmes.

Digitized by Google

Ainsi les terrains quartzeux, à la fois gemmifères et métallifères, présentent tous les caractères du métamorphisme le plus complet. Les porphyres amphiboliques traversent ces terrains sous forme de filons, de dykes amoncelés, souvent rapprochés et formant des séries de collines. Le terrain si profondément modifié est-il bien le terrain de transition? Il y a lieu d'en douter, du moins pour toute la masse, car les parties supérieures (argile schisteuse, calcaire, grès et quartz métamorphiques) sont en stratification très-discordante sur les parties inférieures (quartz, schistes argileux ou talqueux et gneiss). En plusieurs points du Brésil, des granites stannifères, des gîtes de galène et de plomb chromaté, paraissent avoir précédé la grande formation métallifère caractérisée par l'or et les gemmes.

L'or est presque toujours intimement lié à des minerais de fer. Au Brésil il est l'annexe fréquente du fer olygiste, du silicate et du carbonate de manganèse, dans les roches composées de quartz et de fer olygiste pailleteux. Dans les Cordillères, il est plus spécialement uni à des pyrites ou à des hydroxydes qui paraissent provenir de leur décomposition. Après les oxydes et les pyrites de fer, c'est le quartz qui est la gangue la plus ordinaire de l'or, même en dehors du Brésil ; beaucoup de filons de quartz drusique, purs et cristallins, sont aurifères : il est à remarquer qu'au Brésil le développement de l'or semble presque toujours en raison directe de celui des roches quartzeuses.

ANDES CORDILLÈRES.

Les minerais d'argent, proprement dits, constituent, dans la chaîne des Andes, une époque très-distincte de la série métallifère ; ce fait est mis en évidence par la liaison constante de ces minerais avec des porphyres feldspathiques et amphiboliques désignés par M. de Humboldt sous la dénomination de porphyres métallifères, tant cette liaison lui a paru intime. Ce n'est pas que les minerais se trouvent dans les porphyres eux-mêmes,

Digitized by Google

mais ils ne se montrent dans les schistes et dans les calcaires que lorsque ces roches sont accompagnées des porphyres qui les ont à la fois accidentées et modifiées. Toutes les descriptions des gîtes de minerais d'argent aurifère de l'Amérique méridionale sont remarquables par leur identité, et l'on peut, en faisant abstraction de quelques caractères de détail, décrire collectivement ces gîtes de la manière suivante :

Gisement : en filons puissants et continus qui traversent indistinctement des schistes argileux et des grauwackes (filons de Zacatecas et de Guanaxuato, filons de Potosi) ; des calcaires compactes (filons du district de Pasco, de Catorce) ; des calcaires avec lydienne (filon de la Veta-Negra, de Sombrerete) ; des porphyres feldspathiques et amphiboliques (filons de Pachuca et du Xacal, partie supérieure de la Vetamadre de Guanaxuato) ; des porphyres liés aux trachytes et aux obsidiennes (filons de la Biscaina, Real-del-Monte). Ces filons sont ordinairement très-inclinés à l'horizon ; et, comme les alternances des couches de schistes, de calcaires et des masses porphyriques sont souvent très-accidentées, les filons se trouvent quelquefois parallèles à la stratification du terrain.

Gangues. Ce sont le quartz, la chaux carbonatée, les roches du toit et du mur, auxquelles on peut ajouter les pyrites qui jouent, ainsi que l'oxyde de fer, le rôle de gangues plutôt que de minerais. D'après cette énumération, les minerais d'argent aurifère sembleraient subordonnés à d'autres minerais, et c'est en effet ce qui arrive. Ainsi presque tous les filons ouverts à une profondeur considérable abondent en fer sulfuré mélangé de galène et de blende ; l'argent natif, l'argent sulfuré et l'argent rouge, ne sont que subordonnés, et n'ont d'importance que par leur valeur intrinsèque. Dans les exploitations peu profondes, la masse du filon est quartzeuse, les pyrites ont disparu et sont remplacées soit par des amas et des veines d'hydroxyde de fer terreux, soit par une espèce de conglomérat formé de quartz argileux et d'hydroxydes de fer. C'est dans ces terres ferrugineuses, connues sous les dénominations de *pacos* et de *colorados*,

que se trouvent les minerais argentifères et aurifères. Ces pacos paraissent souvent résulter de la décomposition des pyrites ; ce sont de véritables filons pourris dans lesquels la décomposition a détruit la structure cristalline et géodique qui caractérise ordinairement les gîtes de cette nature.

Minerais. Ne considérant ici comme minerais que les minerais caractéristiques de l'époque géognostique et de l'exploitation, on distingue l'argent natif, l'argent aurifère, l'argent sulfuré, l'argent rouge, le chlorure et le bromure d'argent. Les substances métallifères associées et accidentelles sont : la galène, la blende, quelquefois le sulfure jaune d'arsenic, le cuivre sulfuré et le cuivre gris. Rien n'est plus variable que la proportion du minerai ou richesse du filon ; ainsi l'on a trouvé des masses d'argent natif qui pesaient jusqu'à 300 kilog. et il y a du minerai qui en contient 40 et 60 pour 100 : mais ces faits sont exceptionnels, et les mines de l'Amérique ne sont productives qu'en raison de leur nombre et de la masse de minerais extraite. La richesse moyenne de ces minerais n'est que de 0,0018 à 0,0025. L'argent obtenu par l'amalgamation contient presque toujours un peu d'or ; la proportion à Guanaxuato est de $\frac{1}{360}$.

Cordillères du Chili. — Dans les Cordillères du Chili, où commence la série des gîtes métallifères, la distinction des minerais de cuivre, d'or et d'argent a été très-bien établie par les observations de M. Domeyko.

Les affleurements des divers terrains suivent, dans les Cordillères, la direction générale de l'axe de la chaine, et la disposition des mines est soumise à la même loi. Ainsi les côtes du Chili sont composées de roches granitoïdes ; cette bande de roches anciennes est celle qui renferme les filons aurifères caractérisés, comme au Brésil, par le quartz et le fer. Cette formation est aussi celle qui contient les mines de cuivre ; elle est dominée par des porphyres amphiboliques et des eurites qui forment, en quelque sorte, le second gradin de la chaîne. A l'ouest, ces porphyres sont en contact avec une formation calcaire puissante et développée, qui n'est autre que le terrain crétacé. Les couches

Digitized by Google

de ce terrain ont d'abord une inclinaison générale vers l'est; elles ont été ainsi soulevées par les porphyres et suivent comme eux la direction générale de la chaîne. Ces couches se raccordent ensuite, par des lignes horizontales, à un pendage opposé vers l'ouest, pendage causé par la réapparition des porphyres et des eurites qui forment une nouvelle bande saillante suivant la direction générale de la chaîne.

Les deux plans de contact des calcaires crétacés avec les porphyres qui les enclavent et les relèvent ainsi à l'est et à l'ouest, sont des plans métallifères. Le premier, qui se maintient à 40 ou 50 kilomètres de la mer, en suivant parallèlement la côte, a été reconnu sur plus de 400 kilomètres par M. Domeyko; il est marqué par les mines d'argent d'Arqueros, de Tunas, d'Amarga et toutes celles du pays de Copiapo. Cette ligne de mines présente l'argent à l'état natif, amalgamé, ou à l'état de chlorure, elle est séparée des mines d'or et des mines de cuivre du terrain granitique par toute l'épaisseur de la formation porphyrique, qui est stérile. Le plan de contact des calcaires avec la bande orientale des porphyres est marqué par de nombreux gîtes de galène, de cuivre gris argentifère, de sulfures et arséniures multiples argentifères. Enfin, derrière cette seconde ligne de porphyres reparaissent encore les roches granitiques, avec filons de quartz ferrifères et aurifères, roches qui ne sont plus recouvertes que par la grande formation des trachytes et des volcans modernes, dont les masses colossales, posées sur un plateau dont le niveau dépasse quelquefois 2000 mètres, s'élèvent à des hauteurs de 3000, 4000 mètres et au delà.

Ainsi donc, tous les terrains qui constituent la chaîne peuvent être considérés comme stériles lorsqu'ils sont isolés, et c'est seulement suivant certains plans de contact que se montrent les gîtes métallifères; sous ce rapport, les règles observées dans les districts métallifères de l'Europe sont pleinement confirmées dans le nouveau monde.

Dans les Cordillères du Chili, les minerais d'argent, la galène et le cuivre gris argentifère sont postérieurs à la craie; les filons

Digitized by Google

de quartz aurifère avec oxydes de fer et de manganèse, qui se trouvent dans le terrain schisteux, sont antérieurs. La nature des gangues concourt également à faire distinguer ces deux classes de gîtes métallifères. Le quartz et l'amphibole sont les gangues ordinaires des minerais de cuivre; le quartz ferrifère est la gangue de l'or; le sulfate de baryte, la chaux carbonatée spathique et la baryte carbonatée sont les gangues habituelles des minerais d'argent.

Les minerais du Chili consistent en argent amalgamé (Arqueros), chlorures d'argent et argent natif (Chanareillo, Agua Amarga), bromure d'argent, arséniures, mispickel argentifère et sulfures multiples divers. Ces minerais, disséminés le long des Andes depuis Copiapo jusqu'à 80 kilomètres au delà de San-Yago, ont présenté, d'après M. Domeyko, quelques particularités dans leur groupement. Les plus riches sont au nord, les plus pauvres sont au sud; les plus chlorurés au nord, les plus sulfurés au sud. La loi du minerai monte à mesure qu'on avance vers le nord et la quantité paraît en diminuer; tandis que, la loi diminuant vers le sud, on trouve de l'argent disséminé dans des masses considérables.

Les chlorures d'argent, qui sont les minerais les plus productifs du Chili, se présentent ordinairement sous forme de terres grises ou ocreuses, appelées pacos et colorados. Ces terres n'offrent à l'extérieur aucune apparence métallifère. En certains points, à Chanareillo par exemple, le chlorure s'isole en veinules compactes ou stalactiformes; il se présente même, vers les affleurements, en masses considérables mélangées d'argent natif.

La loi de ces minerais est très-variable; on en exploite qui ne contiennent que $\frac{3}{1000}$ d'argent; la majeure partie contient $\frac{8}{1000}$; les minerais sont réputés très-riches à la teneur de $\frac{1}{100}$. Les chlorures, les amalgames et les minerais qui contiennent l'argent natif peuvent être traités à la loi la plus basse. Un fait très-remarquable, c'est que les filons de galène et de blende, qui sont innombrables au Chili, et qui sont si aptes à contenir l'argent dans les autres contrées, sont au contraire très-pauvres dans

celle-ci. Ce fait semblerait indiquer que ces filons plombifères appartiennent à une époque d'émanation plus ancienne, ce qui est d'ailleurs conforme aux données fournies par les autres districts.

Cordillères de la Bolivie, du Pérou, de la Colombie, etc. — Les Andes de la Bolivie, du Pérou, de la Colombie et du Mexique renferment également des séries de gîtes métallifères parallèles à la chaîne. En suivant cette immense ligne, on trouve, dans les granites, les porphyres métallifères et les terrains de transition, des dispositions analogues à celles que nous avons mentionnées dans les Andes du Chili ; ils sont surmontés de même par une série de cônes volcaniques. Des terrains sédimentaires, surtout des grès et des calcaires secondaires, se montrent sur certains points ; mais les gîtes métallifères sont principalement concentrés dans le terrain de transition accidenté par les porphyres.

Telle est la constitution de la riche montagne de Potosi dans la Bolivie, dont les gîtes argentifères ont fourni, depuis leur découverte, une valeur de plus de six milliards. Les gites de Potosi, les plus riches après ceux du Mexique, ont présenté un fait fréquemment observé dans les filons argentifères : la loi du minerai, qui dans les affleurements était extrêmement riche, et s'élevait en certains points à 0,03, et en moyenne au-dessus de 0,0015, s'est affaiblie en profondeur et n'est plus aujourd'hui que de 0,0004. Les gîtes métallifères de cette partie des Andes se prolongent dans le Pérou jusqu'au lac Titicaca, c'est-à-dire sur une longueur de plus de 600 kilom. On trouve, dans les Andes du Pérou comme au Chili, des filons quartzeux aurifères, notamment dans la province de Tarma ; de nombreux lavages d'or sont établis sur le Tunguragua et ses affluents. Les mines d'argent sont au nombre de plus de 600 ; les plus importantes sont aujourd'hui celles de Pasco, situées à 4000 mètres de hauteur près des sources du fleuve des Amazones.

Les gisements des contrées équinoxiales affectent souvent des caractères spéciaux dont le type peut être emprunté au riche

bassin du Pasco au Pérou. Ce gisement est analogue à celui qui a été précédemment désigné sous le nom de *pacos*, et M. Rivero, directeur des mines, en décrit ainsi la composition et l'allure : Au centre du bassin de Pasco, on observe des masses saillantes d'une roche quartzeuse pleine de cavités et d'une couleur ocreuse. La structure de cette roche est fragmentaire. C'est un poudingue de quartz blanc, de pyrite et d'oxyde de fer, et l'on reconnaît encore, dans une partie de ces gangues quartzeuses, la texture du grès qui constitue une formation supérieure aux schistes de la contrée. Ces roches contiennent les pacos qui, dans le district de Santa-Rosa, forment une masse aplatie (probablement un filon en stocwerk), parallèle à la stratification du terrain schisteux encaissant, et dont les minerais fournissent jusqu'à 1 $\frac{1}{2}$ et 2 marcs d'argent par 100 kil. Il y a des masses immenses de ces pacos qui, ne présentant pas la structure cristalline des filons, ont souvent été regardées comme des couches contemporaines.

Les pacos américains doivent être assimilés aux filons, sinon comme forme, du moins comme origine; le gisement des plus riches minerais dans la province même de Pasco tend à le prouver. C'est un schiste à grain fin, dur et micacé, souvent traversé par de petits filons de quartz blanc et de pyrite dont les réseaux complexes forment des stocwerks disposés tantôt en filons, tantôt en amas; cette pyrite est argentifère, et les minerais qui s'y rencontrent forment avec elle une seule et même masse. Ces gîtes forment des séries linéaires comme s'ils avaient pénétré une couche fendillée et diversement disloquée. Il est à remarquer, en outre, que les pyrites argentifères se décomposent très-facilement, même dans l'intérieur des mines, et que, dans les affleurements et jusqu'à une profondeur assez considérable, elles sont souvent remplacées par l'hydroxyde de fer.

Si l'on compare ce gisement aux pacos proprement dits, on est porté à ne voir entre eux d'autre différence qu'une décomposition beaucoup plus avancée de la gangue pyriteuse et le changement d'une portion des grès encaissants en quartz dur et compacte.

Le porphyre métallifère, tantôt feldspathique, tantôt amphibolique, constitue plusieurs des sommités de la localité et souvent des couches intercalées. Son développement concorde non-seulement avec la présence des pyrites argentifères, mais aussi avec la pénétration des substances métalliques dans une partie des couches calcaires qui recouvrent les grès des pacos. Le calcaire, qui est bleuâtre et compacte, est devenu cristallin et métamorphique en beaucoup de points. M. Rivero cite la montagne des Vinchos, où des couches calcaires sont pénétrées de pyrites et de galène argentifère, qui pourraient donner depuis 600 jusqu'à 1500 grammes d'argent au quintal métrique, si l'absence du combustible n'en empêchait l'exploitation. Dans le district de Cuypan, ces mêmes calcaires contiennent des gîtes de cinabre dans une gangue calcaire et argileuse. Dans les mines de Trinidad, Notre-Dame, Descubidora, etc., on exploite un oxyde de fer argentifère avec pyrites de cuivre, dont le mur est une couche calcaire et le toit une couche de grès.

La province de Chota renferme encore d'autres gîtes métallifères importants; des minerais analogues à ceux de Pasco y traversent souvent les calcaires superposés au terrain de transition.

A partir de la province de Chota, les mines d'argent deviennent assez rares ; celles d'or et de platine ont seules de l'importance dans les Andes de la Colombie. C'est principalement dans la branche des Andes qui borde les rivières d'Atrato et de San-Juan, et dans la vallée de Choco, que sont établis les grands lavages d'or et de platine.

Les mines d'or de l'Amérique méridionale ont perdu beaucoup de leur importance depuis le développement de l'exploitation des sables aurifères en Californie et en Australie, mais les mines d'argent en ont une toujours croissante. L'Amérique méridionale est en effet la source principale de l'argent versé dans le commerce ; sa production n'a pas été suffisante dans les premières années pour maintenir la valeur relative des deux métaux; mais l'abondance de l'or a donné une impulsion nouvelle à cette production et l'étude des conditions géologiques des gîtes

Digitized by Google

argentifères et la recherche de ces gîtes sont aujourd'hui plus actives que jamais.

L'étude rapide que nous venons de faire des conditions géognostiques dans lesquelles se trouvent les principaux gîtes métallifères du globe confirme la parité générale que nous avions signalée dans les conditions de gisement des minerais, et démontre en même temps l'existence de certaines lois qui en ont réglé les groupements et l'apparition successive. Ces lois géogéniques des minerais sont surtout mises en évidence lorsqu'on fait abstraction de toutes les circonstances de détail, et que l'on ne considère, pour les comparer entre eux, que les groupements caractéristiques importants par leur étendue.

CHAPITRE IX

RELATIONS DES GITES MÉTALLIFÈRES AVEC LES ROCHES ÉRUPTIVES.

La connaissance des rapports géologiques qui existent entre les gîtes métallifères et les roches qui les enclavent ou les avoisinent est un des résultats les plus importants des études modernes. Dans l'étude de la composition et des formes, on est uniquement guidé par l'interprétation des faits matériels, mais les relations des gîtes avec les roches éruptives, avec les plans de stratification et les lignes géologiques de la superficie ou de la profondeur du sol, ne peuvent être mises en évidence que par l'examen de tous les faits géognostiques de la contrée.

La connaissance de ces relations est aujourd'hui d'une grande importance pour la recherche et l'exploitation des gîtes métallifères. Les problèmes qui se présentent dans les travaux souterrains y trouvent des éléments de solution, et, si l'on n'en peut espérer des règles fixes et absolues, règles qui n'existent d'ailleurs dans aucune science, toujours est-il que, pour suivre utilement les variations et les incertitudes de la plupart des gîtes, il faut avoir égard aux enseignements que fournit l'étude des roches encaissantes.

S'il existe réellement des rapports entre les roches éruptives et les minerais, ils seront tout d'abord confirmés par une considération très-simple. Les roches éruptives forment une série successive des granites aux roches porphyriques, et de celles-ci aux roches volcaniques ; dès lors les minerais subordonnés aux

granites doivent être plus anciens que ceux qui se lient aux roches porphyriques, et ceux-ci plus anciens que les minerais liés aux roches volcaniques. Tel est, en effet, l'ordre géognostique qui résulte de l'étude des gîtes métallifères.

Minerais de la période granitique.—Les minerais de la période granitique, tels que l'oxyde d'étain, le wolfram, le molybdène sulfuré, l'oxyde de titane, etc., lorsqu'ils se trouvent en filons, sont constamment coupés par les filons qui contiennent les minerais de la période porphyrique, tels que le cuivre pyriteux, la galène, la blende, les sulfures d'argent, le cinabre. Ceux-ci sont eux-mêmes généralement plus anciens que certains minerais quelquefois liés aux terrains volcaniques, tels que les minerais de cobalt et de nickel, les minerais d'arsenic, qui forment divers groupements avec la galène, la blende, les minerais d'or, d'argent, et le fer olygiste.

Les minerais forment donc une série géognostique, depuis les oxydes d'étain de certains granites, jusqu'aux émanations métallifères des volcans actuels, et cette série est parallèle à la série géognostique des roches éruptives formées elles-mêmes par les groupements divers du quartz, des feldspaths, des amphiboles, des pyroxènes et des minéraux talqueux. Si donc les associations de ces divers minéraux lithoïdes constituent des roches qui présentent entre elles des différences assez prononcées pour qu'on puisse établir la modification progressive de leurs caractères minéralogiques et leur succession géognostique, il en doit être de même pour les divers groupements de minerais qui sont en rapport avec elles.

L'étude des gîtes métallifères est en effet assez avancée pour que l'on puisse être convaincu qu'il existe un ordre géognostique dans leur succession ; mais, pour préciser cet ordre, nous éprouvons des obstacles de même nature que ceux qui rendent si difficile une classification exacte des roches éruptives. L'isochronisme n'existe pas dans la série des minerais, et, par conséquent, l'échelle géognostique constatée dans une contrée ne s'applique pas nécessairement à une autre. Dès lors les gites métallifères étudiés dans des contrées isolées et toujours très-distantes les

Digitized by Google

unes des autres présentent dans leurs caractères géognostiques une mobilité qui semble enlever tout espoir de classification.

La liaison qui existe entre les roches éruptives et les gîtes métallifères peut seule fournir les éléments de cette classification ; aussi les distinctions minéralogiques qui tendent à subdiviser les trois grandes classes des roches granitiques, porphyriques et volcaniques, sont-elles d'une utilité réelle au point de vue de l'étude des gîtes métallifères.

Les roches granitiques qui représentent la première période éruptive comprennent des variétés assez nombreuses pour qu'on puisse être certain que les phénomènes qui les ont produites ont été très-différents et se sont succédé dans un ordre particulier. Les granites quartzeux et anciens, qui forment en quelque sorte un sous-sol général au-dessous de toutes les formations sédimentaires, ne peuvent être considérés comme dus aux mêmes actions que les granites feldspathiques, les syénites, les granites porphyroïdes, etc., qui se trouvent en dikes, et qui ont souvent fait irruption à travers les terrains secondaires.

Les granites contiennent beaucoup de substances métallifères, mais disséminées en particules, nodules et petites veines cristallines, plutôt qu'en gîtes puissants et d'une grande importance de production. L'oxyde d'étain est la seule substance métallifère qui fasse exception à ce principe et dont les gisements granitiques puissent fournir des quantités considérables. Dans le massif scandinave les granites paraissent plus métallifères que dans les autres parties du globe, et les études de M. Durocher ont démontré que des gîtes importants de minerais de cuivre et d'argent avaient des relations réelles avec les granites ; mais ces gîtes, comparés à l'ensemble de tous ceux qui concourent aux productions métallurgiques, ne sont réellement que des exceptions.

Les véritables minerais granitiques sont les oxydes d'étain du Cornwall ; ceux de la Saxe ou le wolfram, le mispickel et la tantalite accompagnent presque constammeut le minerai principal. L'oxyde d'étain avec ces mêmes annexes s'est retrouvé en France dans les granites du Limousin, en Amérique dans ceux de New-

Digitized by Google

Jersey, et sur beaucoup d'autres points du globe. Les granites des environs d'Arendal, sans présenter de minerais exploitables, ont ajouté la cérite, l'orthite et quelques autres minéraux au cortége des minerais granitiques. Enfin, dans les Alpes, le molybdène sulfuré fait en quelque sorte partie intégrante de plusieurs masses granitiques du Talèfre, et l'oxyde de titane de quelques granites des aiguilles rouges.

Lorsque les granites deviennent métallifères, soit qu'ils contiennent des minerais disséminés dans leur pâte, soit qu'ils enclavent des stocwerks ou des amas subordonnés, il est à remarquer que la nature ordinaire des roches subit très-souvent une transformation complète. Les éléments constituants sont à grandes parties, le quartz surtout s'isole en fragments cristallins et quelquefois en véritables blocs, de telle sorte que ces roches sont, suivant l'expression de M. Élie de Beaumont, de véritables monstruosités de granite. Enfin, ces granites métallifères ne constituent que des massifs circonscrits qui semblent représenter des éruptions particulières et des phénomènes spéciaux. Ainsi le gîte stannifère de Zinnwald, contenu dans les *granites greisen*, et intimement lié à ces granites par l'allure des zones stannifères qui suivent les contours de la masse granitique elle-même, représente évidemment un phénomène local et spécial sur lequel on ne peut faire que deux hypothèses : ou la masse des granites stannifères a fait éruption vers le jour, avec tous les éléments de sa composition actuelle, et les phénomènes de cristallisation et de liquation ont seuls déterminé la forme du gîte; ou cette masse représente une sorte de foyer d'émanations métallifères postérieures au granite, émanations qui ont traversé et pénétré la roche en modifiant sa composition.

Quel que soit le choix que l'on fasse entre ces deux hypothèses, on est embarrassé d'expliquer la concordance qui se retrouve dans presque tous les gîtes stannifères, de l'abondance du quartz avec le développement de l'oxyde d'étain et des minerais annexes; cette concordance semblerait indiquer que les

Digitized by Google

granites stannifères doivent être classés parmi les plus anciens, puisqu'ils sont les plus riches en quartz, conclusion qui serait contraire à beaucoup d'autres faits. En effet, les roches granitiques anciennes ne contiennent jamais de minerais disséminés dans leur pâte, tandis que l'on trouve quelquefois, dans celles qui sont plus modernes, du fer oxydulé, de l'oxyde de titane, du sphène, etc.; enfin, et surtout, la liaison qui existe, en Saxe comme en Cornwall, entre les minerais d'étain subordonnés aux granites et les minerais de cuivre subordonnés aux porphyres, semblent démontrer que les phénomènes métallifères n'ont réellement existé qu'à la fin de la période granitique et à l'époque de sa transition vers la période porphyrique.

Si maintenant on examine la composition des gangues qui, conjointement avec les minerais, ont rempli les gîtes métallifères de la période porphyrique, si l'on remarque l'immense quantité de quartz cristallin que les phénomènes de cette époque ont introduit dans les filons, ne peut-on pas supposer que l'intrusion du quartz dans certains granites est un phénomène solidaire de l'intrusion des minerais stannifères? Ces gîtes résulteraient de phénomènes spéciaux qui y auraient amené, à la fois, le quartz et les minerais, et, au lieu de voir dans les quartz des granites stannifères l'élément d'un granite, on ne devrait y voir qu'une gangue adventive et postérieure.

Sans prétendre expliquer les phénomènes qui ont donné naissance aux granites stannifères, nous sommes portés à conclure que les éruptions granitiques n'ont pas été généralement accompagnées ni suivies d'émanations métallifères, mais que, vers la fin de la période, les actions génératrices des minerais ont commencé à se manifester et ont produit des gîtes contenant particulièrement l'oxyde d'étain accompagné de wolfram, d'oxyde de titane, etc., gîtes tout particuliers en ce que nous y trouvons non-seulement les minerais, mais encore leurs gangues caractéristiques (quartz et spath-fluor) mêlés aux éléments constituants des roches éruptives auxquelles ils se rapportent.

La pénurie métallifère des granites est d'ailleurs un fait pres-

Digitized by Google

que général et parfaitement mis en relief par le peu d'abondance des minerais de fer, si répandus dans les autres terrains. Les forges placées sur nos terrains granitiques sont obligées d'aller chercher leurs minerais au loin, soit dans les couches jurassiques et tertiaires, soit dans les gîtes subordonnés aux roches porphyriques et trappéennes. Lorsqu'on parcourt les surfaces granitiques qui couvrent des espaces si considérables dans la France centrale et dans la Bretagne, on n'y trouve quelques gîtes métallifères que sous des formes et dans des situations qui ne permettent pas de les attribuer à la période granitique; le peu d'oxyde d'étain que l'on a rencontré dans les granites de la Bretagne et du Limousin n'a jamais permis d'y établir une exploitation; et cependant nul pays ne présente des granites d'âges et de nature plus variés.

La surface de l'île d'Elbe est formée en grande partie par les granites de Monte-Campana, les plus modernes que l'on ait pu citer, puisqu'ils ont dû sortir pendant la période tertiaire; or, dans toute cette partie granitique, il n'existe pas de minerais de fer ou de cuivre; tous sont concentrés dans la partie trappéenne de l'île. Malgré leur âge moderne qui les rapproche des porphyres, les granites de l'île d'Elbe forment, par leur stérilité absolue, un contraste frappant avec la richesse des roches trappéennes voisines.

Et d'ailleurs les minerais d'étain n'appartiennent pas d'une manière exclusive aux roches granitiques; la plus grande partie des filons stannifères du Cornwall est postérieure aux granites, et contemporaine des porphyres; les porphyres eux-mêmes sont stannifères près de Penzance en Cornwall et à Altenberg en Saxe.

Ce qui est à remarquer dans ces minerais qui caractérisent quelques points clair-semés des surfaces granitiques, c'est leur tendance générale à se mélanger aux éléments de la roche éruptive. Les gangues de ces minéraux ne sont plus les gangues ordinaires des filons, ce sont le quartz, le feldspath, le mica, quelquefois le spath-fluor; les minéraux accidentels sont égale-

Digitized by Google

ment ceux qui entrent dans la composition ordinaire de certaines roches granitiques, les amphiboles, les tourmalines, etc. Ce mélange des minerais avec les éléments granitiques n'appartient pas seulement aux minerais stannifères, lorsque les autres minerais, comme certaines sulfures de cuivre de Norvége, sont en gîtes subordonnés aux granites; ils se mélangent également au quartz, au feldspath et au mica, et constituent, comme l'oxyde d'étain, des gîtes irréguliers, sans formes définies, et sans le rubanement caractéristique des filons.

Minerais des périodes porphyrique et volcanique. — La période porphyrique, comprenant les porphyres et les roches trappéennes, est la période métallifère par excellence, à tel point qu'il n'est pas de pays de mines où l'on n'ait signalé depuis longtemps les relations des gîtes avec les roches porphyriques. Ces relations sont telles, qu'il y a beancoup de ces roches auxquelles on a donné, de temps immémorial, la dénomination de *porphyres métallifères*, non pas parce qu'elles contiennent, comme les granites, des minerais disséminés dans leur pâte, mais parce que les mineurs ont été toujours frappés des circonstances de gisement qui les lient aux filons et aux autres gîtes métallifères.

Nous pourrions citer beaucoup d'exemples de la présence de minerais disséminés dans la pâte même des roches porphyriques ou trappéennes. Le cuivre natif trouvé dans les trapps du Palatinat et de l'Amérique du Nord sur la rive sud du lac Supérieur, le nickel sulfuré trouvé dans les grunsteins du Dillenburg, le mispickel et le fer chromé exploités dans les serpentines sont des observations que nous pourrions multiplier. Mais ce qui constitue principalement la liaison des minerais avec les roches de la période porphyrique, ce sont les relations de gisement et de voisinage.

Les filons, les gîtes de contact et les amas composés de minerais de toute nature se montrent, dans presque tous les districts métallifères, liés par les relations que nous avons successivement indiquées, notamment dans le Harz, la Saxe et la Toscane, et

Digitized by Google

sur lesquelles nous donnons ci-après quelques nouveaux détails.

Le nombre des gîtes métallifères reconnus comme subordonnés aux roches volcaniques est jusqu'à présent très-restreint; mais probablement cela vient de ce que l'idée de rechercher ces relations était tellement loin de la pensée des géologues, qu'ils ont négligé de faire aucune étude à cet égard. Il est probable que, si les observateurs qui ont étudié les mines de l'Amérique méridionale avaient examiné avec soin les relations qui peuvent exister entre les trachytes et un grand nombre des gîtes argentifères et aurifères des Andes Cordillères, ils eussent constaté de nombreux exemples de liaison géognostique. Le caractère tout particulier de la richesse minérale du nouveau monde résulte probablement de l'âge très-moderne du soulèvement des Andes.

Ce qui donne quelque poids à cette opinion, c'est qu'on a trouvé des rapports fréquents entre les roches volcaniques et les gîtes métallifères riches en métaux précieux, dans des contrées moins nettement caractérisées que les districts de l'Amérique du Sud, et, surtout, que les recherches faites depuis dix ans sur l'âge géognostique des minerais ont démontré presque partout que les gîtes étaient beaucoup plus modernes qu'on ne l'avait pensé d'abord.

En Hongrie, les gîtes aurifères, qui sont les plus importants de l'Europe et dont les minerais consistent principalement en tellure aurop-lombifère et tellure auro-argentifère, sont subordonnés à des porphyres trachytiques tertiaires, de telle sorte qu'ils présentent la double circonstance d'un âge très-moderne et d'une composition toute spéciale, riche en métaux précieux.

Les gîtes méditerranéens de la Toscane, de l'Algérie et de l'Espagne paraissent se rapporter à la période tertiaire. Les minerais de cuivre de la Toscane sont immédiatement subordonnés à des serpentines postérieures aux calcaires crétacés supérieurs et aux macignos; ils sont par conséquent contemporains des trachytes et basaltes de certaines contrées.

En Algérie, le terrain métallifère, celui qui contient les filons

de cuivre gris de Mouzaïa, ceux de cuivre gris et cuivre pyriteux de Tenès et ceux de sulfure et d'oxyde d'antimoine de Guelma, se compose de dépôts argileux supracrétacés. On n'a pu déterminer encore ni l'âge précis de ces dépôts ni les roches éruptives dont les filons peuvent dépendre; mais il est probable que certaines roches amphiboliques découvertes dans l'Atlas, notamment dans le pic des Mouzaïas, et dont les blocs roulés se retrouvent sur certaines plages des environs de Tenès, sont celles dont la sortie a soulevé l'Atlas et a déterminé les fractures de tous ces filons que caractérisent le fer spathique, les minerais de cuivre et d'antimoine. Or ce soulèvement a affecté les dépôts tertiaires d'Alger et de Médéah.

En Espagne, on trouve des gîtes métallifères dans des positions analogues, et quelques-uns, notamment dans la province de Zamora, reproduisent les caractères des gîtes antimonifères de la province de Constantine.

Les nombreux filons de la Saxe et de la Bohême se rattachent presque tous aux divers porphyres de la contrée et forment une série dont l'âge correspond assez exactement à la durée de la période secondaire. Mais, sur quelques points, on a pu constater que les émanations métallifères s'étaient prolongées pendant la période tertiaire et que certains filons se rapportaient aux basaltes. Plusieurs filons des environs de Joachimstal présentent à cet égard des faits incontestables : par leur allure, ils sont subordonnés aux basaltes qui, dans certains cas, remplissent les fractures concurremment avec les minéraux métallifères. Plusieurs de ces filons traversent des dykes basaltiques et sont coupés eux-mêmes par d'autres dykes. Il y a donc eu, parallèlement à la sortie des basaltes, formation de plusieurs systèmes de fractures et des émanations métallifères prolongées. La présence de certains minerais de nickel et de cobalt, mêlés aux minerais d'argent, paraît donner à ces filons modernes un caractère minéralogique particulier.

Il existe dans le département du Puy-de-Dôme, près du village de Pont-Vieux, un faisceau de filons métallifères contenant prin-

Digitized by Google

cipalement des pyrites et des jamesonites argentifères et aurifères. Ces filons sillonnent des schistes argileux, soulevés et percés par des roches basaltiques, dont les rapports de position et d'allure avec les filons sont tels, que M. Debette, qui les a étudiés avec soin, conclut que l'apparition des basaltes a déterminé les fractures dans lesquelles se sont formés les filons. Or, comme les basaltes de l'Auvergne sont postérieurs aux terrains tertiaires, il résulterait de cette observation qu'il s'est formé des gîtes métallifères pendant la période alluviale. La nature toute particulière de ces minerais, leur teneur en argent et surtout en or, viendrait à l'appui de cette idée que les gîtes aurifères sont de formation très-récente.

L'âge des gîtes aurifères semble en effet indiqué d'une manière générale par la présence exclusive de l'or dans les terrains modernes d'alluvion. Dans beaucoup de cas, les émanations métallifères ont mêlé leurs produits aux roches sédimentaires des diverses périodes; les minerais de cuivre du Zechstein en Thuringe, ceux des grès bigarrés de la Bolivie, sont évidemment contemporains des dépôts dans lesquels ils se trouvent. Si les quartz aurifères avaient existé avant les grandes formations détritiques du trias ou du grès vert, ne trouverait-on pas l'or disséminé dans ces dépôts, véritables alluvions de la période secondaire, et la concentration de ce métal dans les alluvions des vallées actuelles ne semble-t-elle pas prouver qu'il appartient aux époques les plus modernes? La présence de l'or dans certains minerais subordonnés aux basaltes est donc un fait à noter comme venant à l'appui de l'idée que nous venons d'émettre sur l'âge moderne des gîtes aurifères.

L'époque récente des actions souterraines qui ont introduit de l'or natif dans une multitude de gîtes spéciaux et de roches métamorphiques est encore attestée par quelques observations essentielles.

L'or natif est très-répandu dans beaucoup de contrées, mais toujours avec une très-grande parcimonie comparativement aux autres minerais. Fréquence et très-grande dispersion, tel est le

Digitized by Google

caractère général de son gisement. Or il est à remarquer que les gîtes et les roches métamorphiques dans lesquels il se trouve appartiennent généralement à des montagnes dont l'époque de soulèvement est très-moderne, tandis que les montagnes anciennes en sont privées. On ne rencontre pas d'or dans les cours d'eau de la Bretagne ou du Cornwall, dans ceux des Vosges ou de la forêt Noire, du Harz ou de l'Erzgebirge, tandis qu'on en trouve d'une manière presque générale dans ceux qui descendent des Alpes, des Pyrénées, de l'Oural, des Andes Cordillères.

Lorsqu'on étudie avec soin la composition des sables aurifères dégagés par le lavage de toutes les parties argileuses et de tous les minéraux les plus légers, on trouve ordinairement, avec le quartz et l'or natif, des minéraux accidentels presque constants, tels que le fer oxydulé, le zircon, la cymophane, le corindon. Or ces minéraux accidentels sont précisément ceux que l'on rencontre dans les roches basaltiques.

Quant aux roches volcaniques actuelles, les laves et toutes les matières scoriacées qui les accompagnent n'ont que des relations indirectes avec les minerais. On y rencontre bien rarement des minerais, mais on peut facilement rassembler un grand nombre d'échantillons métallifères pris dans les fissures et cratères des terrains volcaniques. Le fer olygiste, le fer oxydulé titané, le chlorure de cuivre, le réalgar, recueillis dans les cratères du Vésuve et de plusieurs autres volcans, prouvent qu'à l'époque actuelle les émanations métalliques peuvent encore s'exhaler de l'intérieur du globe. La stérilité des laves en substances métallifères, tandis que ces substances apparaissent dans les cratères et les fissures des volcans, est un fait important à constater, parce qu'il explique les relations de gisement que nous admettons entre les gites métallifères et les roches éruptives des autres périodes.

M. Élie de Beaumont a fait ressortir, dans un travail spécial, les analogies qui existent entre les émanations volcaniques actuelles et celles qui ont dû amener les minerais dans les filons. Il a expliqué comment on pouvait appliquer la dénomination

de volcanique à des phénomènes très-différents, de telle sorte qu'on arrivait à distinguer les substances volcaniques à la manière de laves, et les substances volcaniques à la manière du soufre, du chlorhydrate d'ammoniaque, des chlorures de fer, de cuivre, etc. Les minerais des filons et leurs gangues en rubanements cristallins, mélangés de débris écroulés des épontes, ont tout à fait le caractère de produits volcaniques émanés à la manière du soufre ; ce sont des incrustations faites par des vapeurs et des sources minérales, incrustations cristallines, successivement déposées sur les parois des cassures du sol, empâtant les débris des épontes et quelquefois même des fragments arénacés tombés de la surface.

Cette origine admise, les gîtes métallifères doivent présenter, dans les circonstances de leur forme et de leur gisement, des caractères particuliers qui ont échappé aux géologues de l'école de Verner à l'époque où on les considérait comme des précipitations chimiques de la surface. Il est, en effet, naturel de trouver les minerais liés par de nombreuses relations de gisement avec les roches éruptives, qui sont le résultat principal de la réaction intérieure du globe sur la surface, et qui, lorsqu'elles sont visibles, déterminent en quelque sorte le dessin et l'allure de toutes les lignes géologiques du sol.

En résumé, l'intérieur du globe a été une source d'émanations métallifères pendant toutes les périodes géologiques. Leur quantité est faible pendant la période granitique ; elle n'est encore appréciée, dans la période volcanique, que par des exemples locaux et circonscrits; mais elle joue un rôle considérable dans les contrées perforées par les éruptions porphyriques.

LIAISON DES MINERAIS DE FER, DITS MINERAIS DE MONTAGNE, AVEC LES PHÉNOMÈNES D'ÉRUPTION ET DE SOULÈVEMENT.

Les minerais de fer, les plus répandus de tous, sont assurément les plus propres à faire apprécier les relations des minerais avec les roches éruptives.

Le fer oxydulé et le fer olygiste se rencontrent dans les roches volcaniques, les porphyres et les roches trappéennes de toutes les contrées. On les trouve en cristaux, ou concrétions cristallines, dans les cratères des volcans actuels et dans les fissures des laves; ils existent en amas cristallins, dans les amphibolites de la Suède et dans les serpentines des Alpes; dans l'île d'Elbe, ils constituent de véritables masses éruptives sortant du sol avec tous les phénomènes des roches ignées, dont ils reproduisent les formes et les actions métamorphiques.

Les porphyres ont souvent des relations très-directes avec les minerais de fer; ainsi les minerais de Framont, dans les Vosges, forment des amas dans les roches métamorphiques immédiatement en contact avec les porphyres. Une exploitation très-avancée permet de saisir les formes de ces amas, qui paraissent avoir rempli des cheminées juxtaposées à la masse éruptive; en examinant leur allure, qui s'enfonce sous une inclinaison rapide dans les profondeurs du globe, et leurs parois tapissées de minéraux cristallins pénétrant les roches du toit et du mur, on se représente à la fois la formation de ces crevasses et les phénomènes de leur remplissage. L'imagination chercherait en vain, ainsi que nous l'avons précédemment indiqué, des formes plus expressives et plus en rapport avec l'origine qu'on leur attribue. L'oxyde de fer traverse les roches, les empâte, se concrétionne dans les vides, et ses géodes cristallines reproduisent les belles dispositions et les couleurs brillantes des fers olygistes du Vésuve et des volcans de l'Auvergne. Au contact du minerai tout devient métamorphique : les roches quartzeuses passent à des jaspes ferrugineux, les calcaires à la dolomie ferrifère, et souvent ces divers éléments forment des brèches dans lesquelles le minerai de fer joue le rôle de ciment.

Ce sont les observations de cette nature, répétées sur un grand nombre de gîtes, qui ont fait donner, depuis le commencement des études géologiques, la dénomination de *minerais de montagne* à tous les minerais de fer qui ne sont pas stratifiés en couches et compris dans les phénomènes sédimentaires. On a

Digitized by Google

reconnu que tous ces minerais, composés de fer oxydulé, fer olygiste, fer spathique, hématites fibreuses et concrétionnées, gisaient dans les contrées accidentées, et semblaient se rattacher aux phénomènes d'éruption et de soulèvement. M. Dufrénoy, après une étude approfondie des minerais de fer de la chaîne des Pyrénées, concluait que la formation des fers spathiques et des hématites était postérieure au terrain de craie, qu'elle paraissait avoir eu lieu à l'époque où la chaîne des Pyrénées s'est élevée, et être la conséquence du soulèvement de cette chaîne. La conclusion de son travail pourrait être ainsi formulée : le soulèvement de la chaîne a produit dans les roches une grande quantité de fractures et de vides qui ont été en grande partie remplis par des minerais de fer ; ces minerais y ont été apportés par des émanations de l'intérieur ou par des sources minérales.

Cette conclusion, appliquée aux hématites brunes et aux fers spathiques des Pyrénées, les assimile à des filons; et, en effet, ce qui établit surtout la liaison entre les gîtes de fer et les filons, ce sont les fers spathiques qui servent très-souvent de gangues à la galène, à la blende, au cuivre gris, à la pyrite cuivreuse, au cobalt arsenical, etc., et qui, fréquemment aussi, constituent des masses isolées formant en quelque sorte un passage géologique entre les dykes éruptifs et les filons proprement dits.

Le beau gîte de fer carbonaté spathique du Stahlberg, dans le pays de Siegen, est très-développé en puissance et très-peu en direction ; il constitue une de ces masses problématiques que les Allemands appellent amas-debout, et fait en réalité partie d'un véritable système de filons qui sillonnent la montagne de Müsen. Dans ce même pays, il existe une grande quantité d'autres filons, principalement remplis par le fer carbonaté, et contenant d'autres minerais tels que la galène, le cuivre gris et le cobalt arsenical. Presque toutes les contrées métallifères, et notamment l'Algérie, présentent des filons analogues, qui établissent une liaison incontestable entre les minerais de fer en filons et ceux qui constituent des gîtes irréguliers subordonnés aux roches éruptives.

Lorsque les gîtes de fer sont immédiatement subordonnés aux roches éruptives, ils sont en grande partie formés d'oxydes anhydres ; tels sont ceux de Rio et du Monte-Calamita dans l'île d'Elbe, où l'on peut réunir les faits les plus nombreux et les plus probants à l'appui de l'origine souterraine des oxydes de fer cristallins. Nous trouverons cette origine encore très-nettement exprimée en examinant les circonstances du gisement des fers olygistes et des hématites subordonnés aux roches trappéennes.

Les grunsteins du Harz déterminent une partie du relief de la contrée, et leurs masses éruptives forment les crêtes de quelques-unes des vallées principales, telles que celles de Lehrbach et d'Altenau.

Au contact des grunsteins se trouvent les roches métamorphiques que l'on appelle *blattersteins* ou *mandelsteins*, espèce de trapps schistoïdes que l'on hésite à attribuer soit aux grunsteins, soit aux roches schisteuses relevées et altérées à leur contact. C'est ordinairement dans cette zone des blattersteins que se trouvent les minerais de fer, consistant en hématites rouges et fer olygiste pailleteux ou mamelonné, qui constituent des amas lenticulaires ou de véritables couches onduleuses insérées dans les contacts des roches soulevantes et soulevées. Ces gîtes d'hématite rouge forment des chapelets dans plusieurs plans, et suivent les ondulations des grunsteins dans toute l'étendue de leur développement ; de telle sorte que la position des usines à fer du Harz, telles que celles d'Altenau, de Steinherhutte, etc., se trouve en réalité subordonnée à la position et au développement des grunsteins.

Les mêmes minerais de fer constituent au Harz, quelques véritables filons-fentes, à gangues de quartz et de baryte sulfatée, et ces filons, qui contiennent accidentellement d'autres minerais, notamment de la pyrite cuivreuse, établissent un véritable lien géognostique entre les gîtes de fer subordonnés aux grunsteins et les minerais en filons qui forment le principal caractère métallifère de la contrée.

Les minerais de fer de Dillenburg et de Weilburg, dans le Nassau, sont dans des conditions de gisement identiques à ceux du Harz.

Comme eux ils consistent en hématites rouges, compactes ou schisteuses, placées au contact des grunsteins, principalement dans les roches appelées *schalsteins*, qui y représentent les blattersteins et les mandelsteins du Harz. La profusion de ces couches et de ces amas d'oxydes de fer subordonnés aux grunsteins est telle, que, dans un rayon de quelques kilomètres, les fonderies d'Herborn peuvent puiser leurs minerais dans plus de quarante exploitations distinctes.

Les minerais du Nassau présentent un assez grand nombre de variétés qui établissent le passage de l'hématite rouge, compacte, fibreuse ou mamelonnée, aux schistes rouges, simplement imprégnés d'oxyde de fer par des phénomènes évidemment postérieurs à leur formation, et conservant d'ailleurs leur forme et leur structure. Il est même de ces bancs de schistes qui, sans perdre la structure foliacée qui les caractérise, se sont imprégnés de plus de 60 pour 100 de fer olygiste ; c'est une véritable pseudomorphose.

Toutes ces accumulations de fer olygiste et d'hématite rouge sont donc bien dues à des émanations souterraines qui ont suivi l'éruption des roches trappéennes. Ces émanations sont postérieures à la sortie des roches trappéennes, puisque, dans certains cas, on en trouve les produits rassemblés dans de véritables filons qui coupent les trapps ; elles sont aux éruptions de ces roches ce que sont les produits des solfatares aux éruptions actuelles.

Les serpentines, qui font partie des roches trappéennes, présentent aussi des gites importants de fer, subordonnés à leur éruption.

Le gite de Rio, dans l'île d'Elbe, est le plus remarquable de ceux qui sont subordonnés aux serpentines. Il est composé de fer olygiste et intercalé dans des schistes métamorphiques de l'époque crétacée, relevés sur les pentes des montagnes serpen-

Digitized by Google

tineuses de Sainte-Catherine. Ces minerais, beaucoup plus cristallins que ceux de l'Allemagne et des Vosges, sont insérés dans les plans de stratification, pénètrent les roches, les empâtent des fragments des roches encaissantes, se concrétionnent et forment des géodes dans toutes les fissures. A leur contact, les roches sont altérées, et, lorsque les minerais s'isolent en colonnes puissantes, il semble qu'on les voie s'élancer des profondeurs du sol et repousser par leur force de cristallisation les épontes des fissures préexistantes. Ce gîte de Rio présente tous les caractères d'une génération lente, produite par l'action de vapeurs analogues à celles qui amènent le fer olygiste dans les cratères des volcans. L'éclat des minerais, les géodes tapissées de cristaux, l'isolement parfait des cristaux de pyrite qui forment des groupements spéciaux, et la corosion de ces pyrites souvent transformées en fer olygiste, tous ces détails se réunissent pour révéler l'action souterraine et prolongée des vapeurs métallifères. On reconnaît que, dans beaucoup de cas, le fer olygiste pailleteux, qui, sous le marteau, tombe en poussière brillante et légère, est postérieur au fer olygiste compacte ou en cristaux binoternaires qui constituent le minerai principal.

N'est-ce pas cette même action souterraine qui a produit les gîtes du Harz et du Nassau? De proche en proche, ne doit-on pas attribuer aux mêmes causes le fer olygiste lithoïde, qui imprègne les schalsteins, les blattersteins et les gabbros, puis celui qui détermine la rubéfaction des roches stratifiées placées au contact des roches trappéennes, telles que les thonschiefer rouges qui se trouvent au contact des grunsteins du Harz et du Nassau, les galestri et les mattoni subordonnés aux serpentines de la Toscane?

Nous allons même, en généralisant cette théorie, être conduit à des conclusions plus larges. Dans certains terrains sédimentaires, on trouve des fers olygistes terreux, concentrés ou disséminés dans des roches rubéfiées. Les formations du vieux et du nouveau grès rouge, le grès des Vosges, les marnes irisées et généralement les marnes gypseuses et salifères des terrains

secondaires ou tertiaires, nous offrent des exemples nombreux et développés de la coloration générale, ou du bariolage des dépôts par le fer olygiste. Parmi ces dépôts, nous voyons des couches de minerais concentrés, compactes ou oolitiques (la Voulte, la Verpillière, Privas, etc.), et, dans ces couches, des coquilles transformées elles-mêmes en minerais compactes ou même cristallins (environs de Maisonneuve).

Quels sont donc les phénomènes qui ont pu accumuler dans des couches spéciales, ou disséminer dans des formations entières, des quantités aussi considérables de peroxyde de fer anhydre? Lorsqu'on examine l'immense quantité de fer olygiste répandu dans certaines formations arénacées, rubéfiées, on ne peut faire que deux hypothèses : ou cette masse de peroxyde a été empruntée, comme les autres éléments arénacés, à des roches préexistantes ; ou bien elle a été surajoutée par des phénomènes spéciaux dans les bassins mêmes où s'opérait la sédimentation. La première supposition n'est guère admissible, et nous sommes conduit à expliquer cette rubéfaction générale par l'hypothèse d'émanations souterraines, contemporaines des dépôts et qui ont mêlé leurs produits à ceux de la sédimentation.

A l'appui de cette hypothèse, nous pouvons citer la remarque faite par M. Élie de Beaumont, que la présence de la dolomie, du gypse, de l'anhydrite et du sel gemme, concordait presque toujours avec la rubéfaction des dépôts arénacés; or on est à peu près d'accord pour regarder toutes ces substances comme produites par des influences métamorphiques, contemporaines des dépôts dans lesquels elles ont été stratifiées.

GITES METALLIFÈRES SUBORDONNÉS AUX ROCHES ÉRUPTIVES.

Indépendamment de la connexion fréquente qui réunit dans une même origine certains minerais et certaines roches porphyriques ou trappéennes, on peut dire que les relations de ces roches avec les gîtes métallifères ont été mises en évidence par l'étude de tous les principaux pays de mines.

Harz. — Dans le Harz, les filons se trouvent concentrés dans certains *champs de fracture* qui ont avec les grunsteins des relations de forme et de position. Ces relations sont évidentes pour le groupe des environs de Clausthal et pour celui d'Andreasberg, qui, sur une partie de leur périmètre, se trouvent enclavés dans les grunsteins. A Andreasberg, les filons sont quelquefois coupés par les grunsteins, et d'autres fois les traversent, de telle sorte qu'il reste démontré que les phénomènes d'éruption des grunsteins et ceux de la production des minerais sont à peu près contemporains. On a même trouvé dans les filons d'Andreasberg certaines substances accidentelles qui appartiennent aux grunsteins, notamment la datholite et l'apophilite.

Nous avons détaillé tous les caractères de composition et d'allure de ces filons du Harz dans nos précédentes études sur les mines, où nous terminions par cette conclusion : placés entre deux époques d'éruption d'une même roche, les filons de Clausthal et d'Andreasberg nous représentent des cassures et des actions de remplissage qui ne sont évidemment que les phénomènes accessoires de la série des éruptions trappéennes ; la production des gîtes métallifères n'est qu'un épisode particulier des actions volcaniques de cette époque.

Si l'on ajoute aux faits relatifs à l'origine de ces filons ceux que nous avons précédemment signalés sur le gisement des minerais de fer qui, dans les vallées de Lherbach et d'Altenau, sont immédiatement subordonnés aux grunsteins, on est amené à conclure que tous les minerais du Harz sont intimement liés aux éruptions trappéennes. Quant à l'époque géognostique de ces éruptions trappéennes, nous avons été conduit à la considérer comme probablement contemporaine de celle des ophites des Pyrénées et des serpentines du nord de l'Italie.

Erzgebirge. — Les porphyres de l'Erzgebirge ont, de même, des rapports nombreux avec les filons qui se trouvent sur les deux versants de la chaîne, en Saxe et en Bohême.

Ces porphyres, qui contiennent accidentellement des pyrites,

du mispickel, et de l'oxyde d'étain, sillonnent les champs de fracture, notamment ceux où se trouvent les nombreux filons de Freiberg et de Joachimstall. Dans cette dernière localité, M. Maier a signalé depuis longtemps les variations de composition et de richesse que présentent quelques filons, suivant leur position relativement aux dykes porphyriques qui les accompagnent.

Les éruptions porphyriques et les phénomènes parallèles qui ont produit les gîtes métallifères constituent en Saxe une longue période de réactions de l'intérieur du globe vers son écorce, dont nous avons ainsi classé les résultats : 1° les gîtes irréguliers d'étain, liés aux éruptions des granites-greisens (Zinnwald, Schlakenwald) et des porphyres (Altenberg), forment le commencement de la série ; 2° les galènes argentifères, les minerais d'argent, les blendes et les pyrites, qui sont les caractéristiques des principaux filons de Freiberg, minerais réunis dans les filons de Marienberg avec l'étain et le wolfram, constituent une seconde période bien distincte de la période des minerais éruptifs ; 3° enfin, le groupement des minerais de cobalt, d'urane, de bismuth et d'argent caractérise une troisième époque postérieure aux deux autres. D'après l'âge des porphyres auxquels sont liés ces divers minerais, la formation métallifère se serait prolongée depuis le commencement de la période crétacée jusqu'aux basaltes des terrains tertiaires supérieurs.

Cornwall. — Les filons d'étain et de cuivre de Cornwall constituent également une période métallifère dont les gîtes, tantôt postérieurs, tantôt antérieurs aux porphyres de la contrée (Elvan), appartiennent évidemment à des phénomènes parallèles dérivant de la même cause. Ces porphyres, quelquefois pénétrés eux-mêmes par les principes métallifères, n'ont généralement avec les gîtes que des relations indirectes ; mais leur influence sur le développement et le remplissage des filons a été depuis longtemps observée et signalée par tous les géologues qui ont étudié le Cornwall. Dans cette contrée, comme dans les deux précédentes, la liaison des gîtes métallifères avec les roches érup-

tives est démontrée par des observations que nous avons déjà détaillées.

Aux exemples pris dans ces contrées classiques, nous pouvons en joindre beaucoup d'autres.

Vosges. — Le massif des Vosges est un de ceux qui pourraient fournir les documents les plus précis sur les relations qui lient les gîtes métallifères aux roches éruptives, si ces gîtes étaient plus exploités et mieux connus. On sait que les porphyres jouent un rôle important dans la composition des Vosges; ils forment des accumulations puissantes dans la partie méridionale, où l'on trouve les variétés nombreuses si bien décrites par M. Delesse, telles que les porphyres verts labradoriques, les porphyres bruns ou noirs, les porphyres brèches, les amygdaloïdes, eurites, etc. C'est principalement sur les territoires de Plancher-les-Mines, Servance, Ternuay, Faucogney, etc., que l'on rencontre ces divers porphyres, en masses ou dykes occupant des surfaces considérables.

De nombreux gîtes de minerais de fer se trouvent et se maintiennent dans ces masses porphyriques; tel est le fer olygiste du Ménil, près Servance, qui forme, avec des gangues de quartz et de sulfate de baryte, un puissant filon encaissé dans les porphyres noirs, et celui de Saphoz, près Faucogney, contenu dans les amygdaloïdes; tels sont encore les amas de fer olygiste, fer spathique et oxyde de manganèse de Saulnot et de Coisevaux, contenus dans les porphyres euritiques.

Les filons de galène, cuivre pyriteux et cuivre gris argentifère de Plancher-les-Mines, de Faucogney, Ternuay, Fresse, etc., sont également enclavés dans les porphyres. Quant à ceux de Giromagny, Sainte-Marie-aux-Mines, Saint-Bresson, Château-Lambert, etc., ils appartiennent, comme le gîte de fer olygiste de Framont, aux zones des roches métamorphiques en contact avec les roches porphyriques, ou bien ils sont subordonnés à des diorites et des syénites qui se lient aux porphyres.

De l'autre côté du Rhin, les porphyres et les roches trappéennes présentent des faits analogues.

Digitized by Google

Les trapps des contrées de la Sarre, de la Nahe, etc., souvent désignés sous la dénomination d'amygdaloïdes d'Oberstein, porphyre ou trapps de Fishbach, etc..., ont, surtout, des relations très-directes avec les minerais de cuivre et de mercure. Ces relations ont été étudiées par M. de Dechen, qui a constaté que, dans certains cas, ces minerais sont disséminés dans les trapps eux-mêmes, et que, le plus souvent, ils sont rassemblés dans des filons qui traversent à la fois le terrain houiller et les roches trappéennes.

Les porphyres de Rothweiler, d'Erzweiler, de Landsberg, etc., contiennent beaucoup de veines irrégulières dans lesquelles on trouve du mercure natif ou argental, du cinabre, du cuivre gris, minerais qui sont accompagnés de gangues argileuses, de quartz et de baryte sulfatée, etc. On rencontre encore, dans ces mêmes roches, des filons qui contiennent de la pyrite cuivreuse et du cuivre sulfuré, notamment près de Reichenbach, Frauenberg, Hammerstein, enfin, dans d'autres localités, ce sont les pyrites de fer, le fer olygiste, le fer hydroxydé et les oxydes de manganèse qui sont ainsi subordonnés aux masses trappéennes.

Toscane. — Les serpentines ont avec les minerais des relations non moins intimes que les trapps et les porphyres. Elles forment, depuis Savone, dans le golfe de Gênes, ju qu'au Monte-Argentario, à l'extrémité sud de la Toscane, les traits les plus saillants du relief d'une chaine littorale qui traverse les territoires de Gênes, Modène, Lucques et la Toscane, et qui reçoit sur la plus grande partie de son parcours le nom de Chaîne Métallifère. Les caractères de composition et de formes des serpentines sont évidemment éruptifs, surtout par les circonstances de soulèvement et d'altération qu'elles ont déterminées dans les roches traversées. Les masses serpentineuses forment presque toujours des points culminants, et sont accompagnées de roches de contact, désignées sous la dénomination générale de *gabbros* et pouvant être divisées en deux catégories distinctes, les *gabbros verts* et les *gabbros rouges*; ces gabbros sont les roches qui contiennent ordinairement les minerais.

Digitized by Google

Les gabbros rouges sont, en quelque sorte, les premières roches de contact qui aient été remarquées et signalées comme métamorphiques. Leur couleur rouge, due à la quantité considérable de fer olygiste terreux dont ils sont surchargés, contraste avec les couleurs habituelles des formations sédimentaires de la contrée et avec les serpentines elles-mêmes. Il n'y a aucune trace de stratification dans le véritable gabbro-rosso ; sa structure est souvent bréchiforme, et l'on y distingue des fragments verts stéatiteux parmi les fragments rouges qui dominent ; souvent on y trouve du pyroxène et du spath calcaire.

Ces caractères, analogues à ceux des spillites, laissent l'esprit indécis sur l'origine des gabbros. Lorsqu'on les voit constituer des pitons isolés, de formes analogues à celles des pitons serpentineux, on est tenté de les supposer éruptifs ; mais, d'autre part, ils se lient à des roches schisteuses évidemment stratifiées (galestri et mattoni), et de plus, on ne peut manquer d'être frappé de ce fait, que la condition de leur existence est le contact des masses serpentineuses auxquelles ils sont subordonnés. En examinant de loin certains massifs serpentineux, dont les flancs ont été dénudés, l'œil saisit avec assez de précision, d'après le mouvement des masses rocheuses et leur structure en grand, quelles sont les lignes de séparation des roches soulevantes et des roches soulevées ; en s'approchant ensuite on reconnaît que les lignes de contact ainsi pressenties laissent toujours les gabbros avec les roches stratifiées.

L'étude des gabbros verts confirme cette classification du gabbro-rosso dans les roches de contact. La serpentine présente des caractères physiques tellement contrastants avec le gabbro-rosso, que l'esprit admet difficilement cette dernière roche comme dérivant de la première ; le gabbro vert établit le passage. Cette roche est, en effet, stéatiteuse comme les serpentines, auxquelles elle est quelquefois soudée, tandis que, d'autre part, elle s'unit par des passages minéralogiques à des roches schisteuses évidemment stratifiées ; en même temps, elle passe aussi au gabbro-rosso, en se bariolant de parties rouges sporadiques, puis se

Digitized by Google

chargeant de peroxyde de fer d'une manière générale. Il nous est donc resté démontré que le gabbro-rosso n'était qu'un gabbro vert de contact, qui avait subi des influences particulières, influences dont le résultat a été de surcharger la roche de fer olygiste, en la rendant en outre plus dure et plus cristalline.

Les minerais de cuivre et de fer qui forment le trait caractéristique de la chaîne métallifère sont, en quelque sorte, parqués dans ces roches de contact ou disséminés dans des amphibolites éruptives, qui sont elles-mêmes liées aux serpentines. Ainsi les filons stéatiteux, qui le plus souvent séparent les gabbros verts et rouges des masses serpentineuses, et qui d'autres fois parcourent ces gabbros parallèlement aux courbes du contact et semblent y accuser des clivages de stratification, contiennent souvent des minerais résultant des émanations qui doivent avoir immédiatement suivi les éruptions serpentineuses. Les amphibolites cuprifères et plombifères de Campiglia sont des résultats différents d'actions analogues, isolées de serpentines, mais qui leur sont contemporaines. Les minerais de fer sont dans le même cas; le gîte de Rio, dans l'île d'Elbe, est un gîte de contact placé entre les gabbros et les schistes altérés, et subordonné aux masses serpentineuses de Sainte-Catherine; le gîte éruptif de Calamita, avec ses yénites et ses amphibolites, est, comme ceux du Campigliese, un produit plus direct de l'action souterraine. Enfin, nous venons d'indiquer que nous considérions le fer olygiste, dont les gabbros et les terrains stratifiés sont si souvent imbibés vers les contacts serpentineux, comme résultant des mêmes émanations métallifères.

Beaucoup de faits analogues ont été signalés pour les serpentines de divers pays de mines. Ainsi, à Reichenstein, dans la Silésie prussienne, la serpentine contient du mispickel en telle quantité, qu'on y a établi une exploitation spéciale. Cette serpentine constitue un dyke de 10 à 80 mètres de puissance qui traverse les gneiss; le mispickel est englobé dans la masse éruptive, tantôt en amas ellipsoïdaux, tantôt en veines cristallines; quelquefois il est disséminé dans la pâte serpentineuse sous forme

de petits cristaux et donne à la roche un aspect porphyroïde. Accidentellement on trouve, avec le mispickel, du fer oxydulé, des pyrites de fer et de la blende.

Cuba. — Les gîtes cuprifères de Santiago de Cuba, qui ne fournissent pas moins de 40 000 tonneaux de minerais de cuivre par année, au titre moyen de 16 pour 100, c'est-à-dire plus de 6000 tonnes de cuivre métallique, paraissent dans des conditions de gisement analogues à ceux de la Toscane. Ce sont des gîtes de contact subordonnés à des masses de grunsteins et de serpentines. Les principales exploitations sont situées à six lieues de Santiago de Cuba, autour de la petite ville de Cobre, bâtie pour le service des mines et qui compte déjà cinq à six mille habitants. Le pays est fortement accidenté; le transport des minerais à la mer était très-coûteux avant l'établissement du chemin de fer qui suit la vallée du Rio-del-Cobre, et dont la construction détermina l'impulsion donnée aux travaux souterrains.

Les pitons et les crêtes sont principalement composés de grunsteins et de serpentines qui ont soulevé et modifié des terrains argilo-schisteux dont l'âge géognostique n'est pas encore déterminé. Les roches de contact offrent des altérations métamorphiques très-prononcées et qui rappellent toutes les apparences des gabbros verts ou bariolés de rouge, et les échantillons qui nous ont été rapportés par M. Arieta permettent d'établir des passages très-ménagés des strates argileux dans leur état normal, aux grunsteins et aux serpentines. Les gîtes cuprifères accumulés auprès de Cobre sont enclavés dans des argiles schisteuses vertes, dont la nature stéatiteuse indique le voisinage des roches éruptives et qui sont très-abondamment pénétrées de fer sulfuré cristallin.

Les mines principales paraissent ouvertes dans des gîtes irréguliers de contact insérés suivant la stratification des couches soulevées. La manière dont sont disposées les *pertinencias* (concessions) suffit déjà pour indiquer l'accumulation qui caractérise souvent les gîtes irréguliers, car les principales mines de

Cobre sont concentrées dans un rectangle de 1200 mètres sur 600 et non disposées en lignes, comme lorsqu'il s'agit de véritables filons.

Parmi ces mines, celle d'Isabellita présente des formes bien définies et assez expressives. C'est une espèce de cheminée dont la section est celle d'une moitié d'ellipse coupée suivant son grand axe et qui s'enfonce suivant l'inclinaison des schistes stéatiteux, relevés par les grunsteins. La base linéaire de la section forme le mur du gîte; elle a une longueur variable de 3^m,50 à 7 mètres, la hauteur varie de 2 mètres à 4 mètres. La section totale varie donc de 6 mètres carrés à 18; l'exploitation, arrivée à 200 mètres de profondeur, poursuit le gîte à son maximum de section. Suivant l'expression des mineurs, ce gîte s'enfonce comme un clou dans le sol.

Les gangues qui remplissent le gîte, concurremment avec les matières stéatiteuses qui semblent empruntées aux roches encaissantes, sont le quartz cristallin et la dolomie. Ces deux gangues, souvent isolées, forment des magmats cristallins, mélangés à la pyrite cuivreuse qui est le minerai normal; elles sont quelquefois éliminées par des gangues argileuses, pénétrées par des cristaux de pyrite de fer plutôt que par la pyrite cuivreuse. Enfin, des hydroxydes de fer, pénétrés de cuivre natif et oxydé, jouent parfois un rôle assez important dans le remplissage. Les gîtes Blanca, Arieta, etc., paraissent dans des conditions analogues à celles de l'Isabelita sous le rapport du gisement et lui sont identiques sous le rapport de la composition.

Les travaux poursuivis à Cobre depuis quinze années ont mis en évidence des enseignements précieux qui prouvent combien il y a d'unité dans les lois qui régissent le gisement, l'allure et la composition des gîtes métallifères. Sous le rapport géognostique, nous y retrouvons les gîtes de contact et l'influence des roches trappéennes. Sous le rapport de la composition, nous voyons le minerai sulfuré normal en profondeur, mais transformé vers la surface, de manière à changer complétement l'apparence des mines; les sulfures de fer ont, en se décomposant,

bariolé de teintes ocreuses toutes les gangues et quelquefois les roches encaissantes, et donné naissance au *gossan* caractéristique ; les minerais de cuivre sont transformés à l'état d'oxydules, parmi lesquelles se trouvent les variétés cubiques et capillaires à l'état de cuivre natif. On a cité des concentrations de cuivre natif en masses de plusieurs quintaux.

A cet exemple des gîtes de cuivre liés aux roches trappéennes de l'île de Cuba, nous ajouterons celui des minerais de cuivre de l'Amérique du Nord.

Kewena-Point. — La région qui forme les bords sud-ouest du lac Supérieur a pris un rang important dans la production du cuivre. Cette région est principalement formée de trapps qui ont soulevé et traversé des psammites dont l'âge est encore incertain et que M. Jackson a rapportés au vieux grès rouge. Le littoral qui s'étend à l'ouest du cap de Kewena-Point, sur les bords méridionaux du lac, est la partie la plus étudiée de cette région encore peu habitée, et le cuivre natif que l'on y exploite paraît, sur beaucoup de points, constituer des filons subordonnés aux trapps et même remplir les cavités d'un trapp amygdaloïde disposé en dykes très-épais.

Parmi les caractères particuliers du trapp métallifère, M. Jackson cite l'existence de veines de datholite qui le sillonnent, et contiennent du cuivre métallique en écailles ; il cite la prehnite, qui est dans le même cas ; enfin l'analcime, la laumonite et le spath calcaire. Le cuivre de ces trapps est argentifère, et l'argent s'isole en petites veines et petits nodules cristallins dans un cuivre qui en contient une proportion d'un à trois millièmes.

Cette localité a été visitée en 1846 par M. de Verneuil, qui y a trouvé une grande activité d'exploitation, et en a rapporté des échantillons intéressants qui confirment la description de M. Jackson et subordonnent les minerais de cuivre aux roches trappéennes.

Ici, comme à Cuba, la connaissance des gîtes était antérieure à la colonisation européenne, et les sauvages du Canada recueil-

Digitized by Google

laient depuis longtemps, parmi les alluvions des ruisseaux, de véritables galets de cuivre natif, enlevés aux affleurements par les eaux courantes. Ces indices directs, longtemps négligés à cause des difficultés que présente le parcours du pays, ont enfin été appréciés; une colonie de mineurs s'est disséminée dans de nombreuses concessions, et la petite ville de Kewena-Point, devenue le centre de ce mouvement, possède déjà un journal hebdomadaire dans lequel on trouve consignées les découvertes principales des explorateurs et des exploitants.

Les cuivres natif et oxydulé qui forment le trait caractéristique de cette formation métallifère, se trouvent principalement en filons qui traversent à la fois les trapps et les grès soulevés. Ces filons sont composés de quartz, de spath calcaire, de prehnite et de laumonite, contenant du cuivre natif en lames, en dendrites cristallines, en plaquettes, enfin en rognons lenticulaires, quelquefois tellement considérables, que pour l'exploitation de certains gites il a fallu faire construire un outillage spécial afin de pouvoir entamer et débiter le cuivre en fragments transportables.

Les filons sont concentrés dans des champs de fracture toujours en partie composés de roches trappéennes, et leur liaison avec les trapps est un exemple de plus en faveur des relations géognostiques que nous avons indiquées entre les minerais et les roches éruptives.

Nassau. — Cette extension des relations géognostiques entre les gites exclusivement cuprifères et les roches trappéennes donne quelque importance à une étude plus détaillée que nous avons eu occasion de faire sur les minerais de cuivre et les trapps du Dillenburg. Nous trouvons, en effet, entre les filons cuprifères et les grunsteins, qui forment les traits principaux de l'accidentation et de la composition de ce pays, une liaison différente de celle que nous avons indiquée en Toscane, liaison qui ajoute quelques faits nouveaux aux relations qui subordonnent, en tant de points, les minerais de cuivre aux roches trappéennes.

Digitized by Google

Si l'on examine, sur la carte géologique de l'Allemagne, les environs de Dillenburg, on voit que ce pays, situé vers la lisière septentrionale du Nassau, constitue, dans le massif de transition, un îlot remarquable par une composition spéciale. Des zones étroites, formées par des alternances schisteuses et calcaires supposées dévoniennes, courent du sud-ouest au nord-est, en suivant le mouvement général de direction de la grande zone des calcaires anthraxifères qui traversent, plus au nord, la Prusse rhénane et la Belgique. Ces schistes et calcaires dévoniens sont superposés aux grauwackes et schistes siluriens du massif, et accidentés par des roches trappéennes très-développées, formant elles-mêmes des zones, qui suivent la même direction. Un second groupe des mêmes roches, affectant la même disposition, se trouve un peu plus au sud, de Limburg à Weilburg et Braunfels.

Les roches trappéennes du Dillenburg couvrent une surface considérable (huit à dix lieues carrées), sans être très-apparentes, parce que leurs formes émoussées ne présentent guère que des pentes douces, couvertes par une végétation active. On peut cependant les étudier dans des excavations et des carrières assez nombreuses, où l'on reconnaît de suite la structure massive des grunsteins, structure souvent globuleuse et présentant des surfaces inégales et mamelonnées.

Ces roches ont généralement une texture homogène et compacte; leur couleur est foncée, souvent ocreuse à la surface, mais verdâtre dans les cassures qui atteignent la roche saine. Leurs caractères sont d'ailleurs sujets à des variations suffisamment désignées par la multitude des noms qu'on leur applique, grunsteins, trapps, variolites, amphibolites, diorites, etc. On ne peut mieux les comparer qu'à toutes les roches qui portent les mêmes noms dans le groupe des montagnes du Harz.

En étudiant avec attention quelques-unes des masses principales, on reconnaît que la partie centrale de ces masses est généralement très-constante dans ses caractères; c'est toujours une roche verte, homogène et compacte, véritable type du grun-

Digitized by Google

stein. Les variations qui ont amené tant de dénominations différentes ont lieu principalement vers les zones extérieures, à l'approche du contact des roches soulevées ; condition que nous avons signalée pour les masses serpentineuses de la Toscane, et qui existe également pour les grunsteins du Harz. Examinons les véritables roches du contact de Dillenburg et nous les verrons affecter des caractères encore plus complexes, mais qui rappellent toujours quelques-uns de ceux du type trappéen.

Ces roches de contact sont désignées dans le Nassau sous la dénomination générale de *schalsteins*.

Les schalsteins ont depuis longtemps attiré l'attention de tous ceux qui ont étudié les roches du Nassau; Becher, Walchner, Stifft, Leonardt, de Dechen, etc., ont signalé les caractères de ces roches, et distingué : 1° les schalsteins proprement dits ou trapps schisteux ; 2° les kalk-trapps, qui sont des roches compactes, homogènes, vertes ou rouges, caractérisées par une plus grande abondance du principe calcaire ; 3° les mandelsteins, qui ne sont autre chose que nos amygdaloïdes, roches de contact, qui lient les précédentes aux grunsteins.

M. Oppermann a publié, en 1836, une thèse sur le schalstein et le kalk-trapp, où il résume toutes les opinions publiées précédemment. Ces roches sont ordinairement situées au contact des grunsteins avec les grauwackes, les schistes, ou les calcaires; de telle sorte qu'on peut, suivant les localités, les étudier dans les milieux très-différents dont elles reflètent les caractères. C'est ainsi, dit M. Oppermann, que Becher a étudié principalement les schalsteins dans la formation calcaire, Walchner dans la formation des schistes argileux, et Stifft dans les grunsteins ; de telle sorte que chacun d'eux a caractérisé ces roches par la prédominance du calcaire, de l'argile ou des principes talqueux.

Tous ces observateurs paraissent être d'accord pour regarder les schalsteins, les kalk-trapps et les mandelsteins, comme des roches subordonnées aux grunsteins, formant passage entre les roches cristallines et les roches stratifiées, argileuses ou cal-

Digitized by Google

caires. Cependant quelques-uns ont séparé les schalsteins argileux, qu'ils considéraient comme une roche stratifiée, subordonnée aux roches schisteuses et placée généralement entre ces roches et celle de la formation trappéenne ; tandis qu'ils ne pouvaient supposer pour les kalk-trapps et les mandelsteins une autre origine que celle des grunsteins.

Même après avoir lu les diverses publications dont ils ont été l'objet, il reste bien difficile de définir les schalsteins ; ce sont, le plus souvent, des roches compactes et lithoïdes, vertes ou rougeâtres, très-fendillées, surtout suivant le sens général de la stratification, de manière à être plateuses. Quelques variétés sont schisteuses ; d'autres sont bréchiformes, massives, et se décomposent en boules et zones concentriques, comme les grunsteins eux-mêmes. La couleur rouge des schalsteins devient quelquefois très-prononcée, et ils contiennent accidentellement des bancs concordants de peroxyde rouge de fer. Enfin, les amygdaloïdes variolitiques à noyaux calcaires, appelées mandelsteins, font encore partie des schalsteins, et se développent surtout dans les parties du sol où il existe des calcaires dévoniens.

Abstraction faite des amygdaloïdes, les *schalsteins* reproduisent la plus grande partie des caractères assignés aux *gabbros* verts et rouges de l'Italie. Par les amygdaloïdes et les bancs subordonnés de fer olygiste, ils se confondent avec les *blattersteins* du Harz.

Toutes les considérations que nous avons énumérées pour démontrer que les gabbros étaient stratifiés peuvent s'appliquer aux schalsteins et aux blattersteins, car ces trois types de roches présentent des identités remarquables dans les conditions de leur gisement. Toutes trois se trouvent vers les périmètres des groupes trappéens auxquels elles sont subordonnées, suivent les contours des masses éruptives, et, en même temps, les allures stratifiées des dépôts soulevés. Toutes trois présentent les passages minéralogiques les plus ménagés qui les lient, d'une part, avec les roches évidemment éruptives, et, d'autre part, avec les roches évidemment stratifiées. Enfin,

Digitized by Google

toutes trois sont partiellement surchargées de peroxyde rouge de fer, trop abondant pour qu'on puisse le supposer dû à la suroxydation du fer préexistant, et qui a été, suivant toute probabilité, surajouté par des émanations spéciales.

En étudiant les rapports des schalsteins avec les gites métallifères, nous aurons encore occasion de signaler d'autres analogies. Prenons un exemple qui nous permetra de préciser les conditions du gisement des grunsteins, des schalsteins et des roches stratifiées du Dillenburg, puis de décrire l'allure et la composition des gîtes métallifères qui se trouvent dans ces terrains.

Au nord de Dillenburg, la vallée de la Dill se trouve encaissée par des groupes montagneux surbaissés, qui renferment des mines de cuivre exploitées depuis longtemps. Sur la rive gauche, une compagnie anglaise a ouvert des travaux assez développés aux environs de Nanzenbach; sur la rive droite, plusieurs compagnies allemandes sont disséminées, notamment au-dessus du village de Weidmansheil, où se trouvent les mines de Stangenwaage, Bergmansglucke et Haus-Nassau. Le terrain qui encaisse ces divers gîtes est en strates fortement inclinées, dirigées du nord-ouest au sud-ouest, suivant le mouvement général des couches dévoniennes et siluriennes du pays; de telle sorte que la projection horizontale des diverses couches forme une succession de zones parallèles assez disparates et qui coupent la vallée de la Dill.

Ces couches appartiennent à des tonschiefer bleuâtres alternant avec quelques bancs calcaires; elles sont accidentées par des grunsteins très-développés, qui, le plus souvent, se sont insérés suivant les plans de la stratification, et se montrent avec toutes les roches annexes métamorphiques, c'est-à-dire les tonschiefer rouges qui représentent un premier degré d'altération du terrain soulevé, et les schalsteins[1].

[1] Il y a encore un rapprochement intéressant à faire entre les roches altérées du Dillenburg et celles de la Toscane. Il existe deux degrés d'altération représentés dans les deux localités, le premier par les schistes rouges du Dillenburg et les ga-

On peut étudier les diverses roches du terrain en se rendant aux mines par la petite route située au nord-ouest de Dillenburg, route qui côtoie des escarpements dénudés. On reconnait de fort loin les surfaces massives et ondulées des grunsteins, et l'on trouve, sur les haldes des mines, les échantillons les plus variés des roches traversées par les galeries, qui, la plupart, sont percées perpendiculairement à la direction des couches, de manière à les traverser toutes. En s'aidant de la carte des mines, on arrive à une connaissance précise des caractères minéralogiques de ces roches et de leur position relative.

Sous le rapport minéralogique, les schalsteins, dont les caractères sont si mobiles, sont les roches qui intéressent le plus. On y reconnait les variétés bréchiformes à fragments anguleux, verts ou rougeâtres, les variétés amygdaloïdes à mélange de spath calcaire, tantôt en veines irrégulières, tantôt en globules radiées de toutes dimensions; enfin, ces variétés vertes ou rouges, compactes et homogènes, qui jettent tant d'incertitude sur leur origine. Parmi les roches liées aux schalsteins et partageant leur allure, se trouve le peroxyde rouge de fer, qui forme des bancs irréguliers.

Ces bancs de fer olygiste reproduisent toutes les conditions de gisement et de composition des bancs de fer olygiste subordonnés aux blattersteins dans la vallée de Lerbach au Harz.

Sur les haldes, on est frappé de la forme plateuse de tous les fragments de schalsteins, et, en examinant les couches en place, on reconnait que les fissures principales qui déterminent cette structure, et même donnent quelquefois à la roche une structure schistoïde, sont parallèles aux plans de la stratification.

Les couches de schalstein sont quelquefois comprises entre des couches schisteuses ou calcaires, sans le contact immédiat des grunsteins. Cet isolement est assez fréquent, et, si on le rap-

lestri de la Toscane qui reproduisent les mêmes caractères minéralogiques; le second par les schalsteins et les gabbros.

proche de cet autre fait, que plus souvent encore le grunstein est en contact immédiat avec le terrain schisteux sans lisières intermédiaires de schalstein, on arrive à conclure que la formation du schalstein n'est pas simplement due à des circonstances de contact. Ces roches dérivent probablement, ainsi que les couches de fer olygiste, de phénomènes d'émanations complexes et prolongées qui ont suivi les éruptions trappéennes et transformé des roches préexistantes.

Examinons maintenant les gîtes cuprifères : ils consistent en filons assez nombreux. Les uns, continus et assez puissants, ont une allure généralement perpendiculaire à la direction des couches, quoique cette allure soit assez tortueuse : ce sont les filons principaux. Les autres, beaucoup plus nombreux, sont très-courts et très-minces; leur allure se confond avec les plans de la stratification.

Le filon principal du Stangenwaage traverse la série de toutes les couches du terrain, perpendiculairement au plan de leur stratification, et se trouve, par conséquent, dans des *milieux* très-différents, suivant que le toit et le mur sont formés par des calcaires, des schistes argileux, des schalsteins ou des grunsteins. Le remplissage principal est formé de quartz, auquel se joignent, en plus ou moins grande quantité, du peroxyde de fer et les débris empruntés aux roches du toit et du mur. La pyrite cuivreuse pure, souvent cristallisée, se trouve engagée dans ces gangues, et l'expérience de l'exploitation a démontré depuis longtemps que *les filons n'étaient puissants et riches en pyrite cuivreuse que lorsqu'ils traversaient les grunsteins ou les schalsteins*.

Les mineurs du Dillenburg ont donné le nom de *milieu-noble* (edle-mittel) aux parties qui contiennent la pyrite cuivreuse en proportions avantageuses; or ces milieux n'existent précisément que lorsque les filons traversent les roches précitées.

On voit qu'il y a là une loi d'enrichissement qui peut s'expliquer par ce fait, observé dans les filons d'autres contrées, que, les cassures étant mal développées dans les terrains schisteux,

les filons y sont peu puissants et remplis de débris stériles, tandis que les grunsteins et les schalsteins, par la nature nette et franche des cassures, ont offert aux émanations métallifères des évents larges et plus durables. Cependant une seconde loi vient ajouter à l'importance de la première, et peut faire attribuer à ces roches une influence métallifère plus directe et plus prononcée; c'est que ces filons-fentes, qui, par leur origine, sont généralement peu dépendants des roches encaissantes, n'existent que dans des positions analogues à celles que nous venons de décrire, c'est-à-dire sont réellement subordonnés à la proximité des roches trappéennes.

Ainsi, dans le vaste massif de transition des provinces rhénanes, les caractéristiques de la richesse minérale sont le fer spathique, la blende et la galène; il s'y trouve peu de mines de cuivre proprement dites, à l'exception des filons de Rheinbreitbach. Dans tous les pays trappéens du Dillenburg, nous voyons, au contraire, une multitude de filons exclusivement caractérisés par le fer olygiste, la pyrite cuivreuse et le cuivre gris, et toujours la richesse y présente des relations de voisinage et de contact avec les roches trappéennes. Quittons les trapps pour aller vers le pays de Siegen, si riche en minerais, la pyrite cuivreuse disparait et n'est déjà plus qu'un minerai rare et accidentel [1].

Le seul point sur lequel on trouve unanimité de tous les observateurs qui ont décrit les schalsteins est l'existence d'une véritable intimité géognostique entre la formation des schalsteins et celles des filons cuprifères et des bancs de fer olygiste. Ainsi, d'après Stifft, les schalsteins doivent être considérés comme le gisement principal des gîtes de fer et de cuivre dans le Dillenburg. D'après Schneider, les schalsteins sont spécialement caractérisés par des bancs subordonnés d'oxyde rouge de fer, qui ont un caractère de stratification; en même temps ils sont traversés par des filons de pyrite cuivreuse et de cuivre

[1] Ces relations géologiques des minerais de cuivre avec les trapps du Dillenburg ont été depuis longtemps signalées par M. Heusler

Digitized by Google

gris argentifère. D'après Cramer, les filons cuivreux qui traversent les schalsteins et les roches alternantes sont constamment ennoblis dans les schalsteins et mandelsteins, et sont d'autant plus riches et puissants que ces roches sont plus chargées de peroxyde rouge de fer; dans la grauwacke et les schistes, ils sont peu puissants, difficiles à suivre et souvent se perdent tout à fait.

La constitution du terrain métallifère du Dillenburg et les relations qui y régissent l'enrichissement des filons donnent lieu à une disposition toute particulière des minerais.

Les couches alternantes qui forment le massif du Stangenwaage sont fortement relevées et plongent sous des angles de 55 à 75 degrés; or, comme les filons qui traversent ces alternances presque perpendiculairement à leur direction ne s'enrichissent que dans les grunsteins et dans les schalsteins, il en résulte que les zones métallifères des filons sont inclinées comme les sections verticales des milieux traversés. Ainsi donc, en rapportant l'allure des zones métallifères à la direction et à l'inclinaison des filons, on trouve que ces *zones d'enrichissement suivent des lignes inclinées, diagonales entre l'inclinaison et la direction des filons.*

Cette allure diagonale des zones métallifères dans les filons n'est pas un fait exceptionnel. On a cité des exemples dans les filons qui sillonnent la rive droite du Rhin, d'Holzappel à Saint-Goar; mais ici le fait est expliqué par l'influence et l'allure des roches encaissantes.

Voici donc encore un exemple où l'étude de la théorie des filons et de leurs relations géognostiques doit servir de guide aux exploitants. On voit, en effet, que des travaux verticaux, entrepris pour recouper en profondeur les parties reconnues avantageuses dans les premiers niveaux, finissent par conduire dans des zones stériles; dès lors tel esprit superficiel eût pu s'emparer d'un insuccès de cette nature et déclarer que les filons ne présentaient aucune garantie de richesse en profondeur, tandis qu'en réalité, si les travaux sont maintenus suivant

Digitized by Google

l'inclinaison des schalsteins, ils ne cessent pas de rencontrer des minerais. Cette étude des relations qui peuvent exister entre la nature des épontes et la distribution des minerais dans les filons eût été plus naturellement à sa place dans la partie de ce travail où nous traiterons de la continuité des minerais en profondeur ; si nous l'avons placée ici, c'est parce qu'elle démontre combien les minerais se trouvent liés aux roches trappéennes.

Les grunsteins des environs de Dillenburg présentent un cas remarquable de dissémination de minerai dans la pâte même de la roche éruptive. C'est un dike de 5 à 10 mètres de puissance, pénétré de sulfure de nickel, en cristaux ou aiguilles répandus dans toute la pâte, de manière à laisser peu de doutes sur le fait de contemporanéité. L'exploitation, qui date déjà de longtemps, a trouvé dans ce grunstein une source de production de nickel d'un grand intérêt, puisqu'elle repose sur un minerai jusqu'ici fort rare et dont l'origine éruptive est de toute évidence.

La liaison des schalsteins du Dillenburg avec les minerais de cuivre est une considération à ajouter à celles sur lesquelles nous avons appuyé leur assimilation avec les gabbros du nord-ouest de l'Italie ; leur liaison encore plus intime avec les gîtes de fer olygiste et leur rubéfaction fréquente les identifient d'une manière non moins directe avec les blattersteins du Harz.

En résumant ce qui vient d'être exposé sur les relations des grunsteins et schalsteins avec les gîtes métallifères nous trouvons les roches trappéennes du Dillenburg : 1° exerçant des influences d'enrichissement sur de nombreux filons cuprifères qui les traversent, et dont le développement leur est d'ailleurs subordonné ; 2° contenant accidentellement du fer olygiste englobé dans leur masse, et du sulfure de nickel disséminé en cristaux contemporains ; 3° présentant des relations de contact avec des gîtes multipliés de fer olygiste.

Altaï-Oural. — Les ingénieurs des mines russes ont principalement étudié les gîtes de l'Allemagne ; aussi, dans toutes les

Digitized by Google

descriptions qu'ils ont données des gîtes métallifères de l'Altaï et de l'Oural, se sont-ils attachés à faire ressortir les relations qu'ils ont observées entre les minerais et les roches éruptives.

Ainsi les gîtes argentifères de Nicolaïefs, dans l'Altaï (district de Kolyvan), sont compris entre un toit et un mur de porphyre quartzifère, et le gîte est lui-même une veine de quartz. La masse métallifère repose immédiatement sur le porphyre et est si intimement liée avec lui, qu'il est impossible de reconnaître l'endroit où commence le quartz et où finit le porphyre[1]. Les mines d'argent de Tcherepanofsk se composent également d'une série de veines enclavées dans un porphyre et y formant une sorte de stockwerk qui paraît contemporain de la masse éruptive.

Dans le même district, les minerais de cuivre de Zolotonchinsk et de Loktiefsk sont compris dans des masses de porphyres et d'eurites. En se rapprochant du minerai, ces porphyres perdent leurs cristaux et passent à une roche argileuse qui contient du fer hydroxydé et du cuivre carbonaté ou silicaté, minerais qui, en profondeur, se transforment en sulfures.

Les mêmes relations existent dans l'Oural, et l'on cite les gîtes de Turjinsk comme présentant le cuivre natif, oxydé, carbonaté, silicaté et pyriteux, dans les roches de contact qui entourent les masses de porphyres dioritiques. Les roches traversées par les diorites sont principalement calcaires et fréquemment accompagnées de grandes masses de grenats qui, d'après M. Élie de Beaumont, doivent être attribuées à l'influence des phénomènes éruptifs. Il semble exister une certaine analogie entre ces diorites et les amphibolites de la Toscane, qui traversent également des calcaires, et ont donné naissance, non pas à des grenats, mais à des yénites qui accompagnent souvent les minerais de cuivre et de fer.

Ajoutons enfin que M. Le Play a signalé, dans l'Oural, les

[1] *Annales des mines de Russie*, 1840.

Digitized by Google

roches serpentineuses comme le point de départ du platine qu'on rencontre dans certaines alluvions. Le platine y est associé avec du fer chromé.

Ainsi les observations dont les contrées métallifères de l'Allemagne ont été le point de départ s'étendent successivement à toutes les parties du globe : aux porphyres métallifères de l'Erzgebirge et aux grunsteins du Harz, sont venus s'ajouter les porphyres du Cornwall, ceux des Vosges et de la forêt Noire, les trapps du palatinat, du Nassau, de Santiago de Cuba, des bords du lac Supérieur, les serpentines de la Toscane et de l'île d'Elbe, de la Silésie, etc.; les diorites, les grunsteins et les eurites de l'Altaï et de l'Oural.

Dans toutes ces localités, on a successivement reconnu les mêmes relations entre les minerais et les roches cristallines : tantôt les minerais sont parties constituantes disséminées dans la roche éruptive, tantôt ils forment des amas subordonnés et contemporains, tantôt ils sont concentrés dans les roches de contact; plus souvent encore, ils sont rassemblés dans des filons qui sillonnent des champs de fracture latéraux. L'étude attentive des filons partout a mis en évidence le parallélisme de la production des minerais avec les phénomènes d'éruption et les influences de ces phénomènes sur le remplissage.

Andes Cordillères. — Les gîtes du nouveau monde, et principalement ceux qui se trouvent sur les pentes occidentales des Andes du Pérou et du Chili, pourraient fournir des exemples nouveaux et nombreux de tous ces genres de liaison des minerais avec les roches porphyriques et trappéennes. Sur ces pentes des Andes, une vaste formation de calcaires jurassiques ou crétacés, forme une zone parallèle à la côte granitique ainsi qu'aux sommités granitiques ou volcaniques. Ces calcaires, lorsqu'on les aborde à partir de la côte, plongent vers les Andes; et leurs couches relevées par des roches dioritiques renferment tous les gîtes de minerais d'argent, natif, amalgamé ou chloruré. La zone des calcaires horizontaux qui vient ensuite est tout à fait stérile; mais, lorsque les calcaires se relèvent de nou-

veau et en sens inverse sur les flancs d'une seconde zone des roches trappéennes, on y retrouve des gîtes nombreux de galène et de cuivre gris argentifère.

Cette classification des minerais des Andes Cordillères, suivant les clivages redressés des terrains stratifiés, rappelle les caractères des calcaires métallifères de la Meuse et du Rhin; elle démontre l'unité des phénomènes géogéniques qui ont formé les gîtes métallifères dans toutes les parties du globe, unité qui se manifeste non-seulement dans les faits principaux, mais jusque dans les moindres détails de la composition et de la structure de ces gîtes.

Les applications que l'on peut déduire de toutes ces relations observées entre les roches éruptives et les gîtes métallifères, relations qui s'appliquent à la fois à leur gisement et à leur richesse, peuvent, on le voit, être nombreuses et d'une grande utilité dans la recherche et l'exploitation des mines. Nous insisterons spécialement sur la première de toutes, qui est *le principe de la continuité des minerais en profondeur*.

Si, en effet, les minerais sont tellement liés aux roches éruptives qu'ils font souvent partie intégrante de leur composition; si, dans les formes qui semblent au premier abord les plus indépendantes, ils sont astreints à des relations de contact ou de voisinage; si, enfin, leur richesse semble, dans beaucoup de cas, dériver des roches éruptives voisines et des roches métamorphiques qu'ils traversent, ne doit-on pas conclure que ces minerais et les roches éruptives ont une origine commune et sont venus de bas en haut? N'est-on pas confirmé dans cette conclusion, lorsqu'on voit ces relations se reproduire dans toutes les contrées, à presque toutes les époques géologiques, et se continuer quelquefois à l'époque des trachytes et des basaltes, ainsi que cela a été observé en Hongrie et en Bohême; surtout lorsqu'on rencontre dans les cratères des volcans actifs, le fer oligiste qui se retrouve dans tant de gîtes, des chlorures de cuivre, des réalgars comme il en existe dans certains gîtes du Chili et de la Hongrie?

L'origine des minerais une fois établie devient pour le mineur un véritable guide ; c'est un élément indispensable pour la conduite des travaux de recherche. Voyons actuellement les faits qui peuvent établir ou contester le principe de la continuité des minerais en profondeur ; comparons, en un mot, les faits pratiques avec la théorie.

Digitized by Google

CHAPITRE X

DE LA CONTINUITÉ DES MINERAIS EN PROFONDEUR.

La distinction établie entre les gîtes réguliers et irréguliers ne s'applique pas seulement aux différences de formes qui caractérisent ces deux classes de gîtes, mais encore à leur richesse.

Les gîtes irréguliers présentent les plus grandes variations dans leur composition, aussi bien que dans leurs formes ; ils passent de dimensions excessives aux dimensions les plus restreintes, et de grandes concentrations métallifères à une pauvreté telle, que les exploitations ne peuvent s'y maintenir.

Les mines ouvertes sur des groupes de filons, comme celles du Harz, de la Saxe, du Cornwall, etc., produisent, au contraire, presque toujours les mêmes minerais et les mêmes quantités. Aussi peut-on avancer ce fait, que, malgré les périodes brillantes de leur exploitation, les gîtes irréguliers sont généralement moins avantageux que les filons. Dans toutes les contrées métallifères où la production est stable et régulière, les filons sont en grande prédominance, tandis que les gîtes irréguliers, après des périodes brillantes, ont été le plus souvent abandonnés. Nos mines de Chessy fournissent un exemple qui se reproduit dans bien des pays ; la plupart des gîtes irréguliers stannifères sont abandonnés, et bon nombre de gîtes irréguliers de galène, de calamine, ou de minerais cuprifères, après avoir joué un rôle important, figurent à peine dans le tableau de la production de mines, ou n'ont plus que peu d'années d'existence assurée.

En effet, par la condition même de leur irrégularité, ces gîtes, lorsqu'ils présentent une très-grande puissance à la surface ou près de la surface, doivent diminuer en profondeur, et, le plus souvent, par des étreintes rapides ; c'est la pauvreté et l'exiguïté qui succèdent à la richesse et à la puissance. Quelquefois c'est l'inverse qui se présente, et tel gîte, comme celui du Rammelsberg au Harz, ou de Monte-Catini, en Toscane, commencera par un affleurement de peu d'importance, et se dilatera progressivement en profondeur de manière à atteindre un maximum de développement sous le double rapport de la concentration des minerais et de l'élévation de leur titre ; mais ce maximum, une fois atteint, il décroîtra. Alors se présenteront des problèmes de direction et de continuité d'autant plus difficiles à résoudre, que les travaux auront une plus grande profondeur, et que la déception éprouvée par les exploitants aura ébranlé leur zèle et leur persévérance. Ajoutons aussi une remarque faite en plus d'une circonstance, c'est que les exploitants, habitués à trouver dans les parties dilatées des minerais riches et abondants, sont conduits à regarder comme insignifiants des indices de continuité qui, partout ailleurs, seraient considérés et suivis comme des guides d'une importance réelle et qui pourraient, en effet, conduire au rétablissement de la production.

La conséquence naturelle de l'irrégularité qui caractérise cette classe de gîtes est que les variations de leurs produits, et souvent leur appauvrissement et l'abandon qui en a été la suite, ont fourni des arguments nombreux contre la continuité des minerais en profondeur. Il est donc essentiel de distinguer tout d'abord les filons-fentes des gîtes irréguliers, et de ne pas appliquer à une classe de gîtes des conclusions tirées d'observations faites sur une autre classe. C'est ce qui est arrivé lorsqu'on a voulu juger les filons de la Bretagne d'après les gîtes irréguliers plombifères de la côte orientale d'Espagne. Les deux éléments n'étaient pas plus comparables que si l'on prétendait condamner la production future de l'argent au Mexique, production qui repose principalement sur l'exploitation de filons,

Digitized by Google

parce que les gîtes irréguliers du Potosi ont dû être abandonnés.

Avant d'examiner la question de la continuité des minerais en profondeur, établissons donc ce point essentiel, que les filons seulement sont comparables entre eux, et que, parmi les gîtes irréguliers, on doit chercher à assimiler ceux que leurs conditions de forme et de gisement permettent de regarder comme résultant de phénomènes analogues. La théorie devient ici un guide nécessaire, car on ne pourrait, par exemple, appliquer utilement les faits observés sur des gîtes éruptifs à ceux qui résultent des phénomènes de contact.

De la continuité des minerais dans les filons. — Il y a cinquante ans, M. Héron de Villefosse, chargé de la direction générale des principales mines de l'Allemagne, recueillit tous les documents relatifs à leur situation et à leurs travaux, documents qui furent publiés sous le titre de : *la Richesse minérale*. Cet ouvrage a si bien précisé l'état des mines de l'Allemagne, qu'il peut encore servir de guide aujourd'hui pour leur étude, et que, sauf la plus grande extension des travaux et les nombreux perfectionnements du matériel employé dans les exploitations, on n'y trouve pas de changements bien considérables. Les mines de Clausthal et d'Andreasberg, au Hartz, les mines de Freiberg, en Saxe, sont toujours restées les éléments principaux de la production et de l'étude.

Cet ouvrage, qui précise la situation de la richesse minérale de l'Europe il y a cinquante ans, est surtout intéressant à consulter pour constater quelle a été la marche des exploitations pendant la période écoulée depuis sa publication.

Les filons de Clausthal ont présenté, dès l'origine, des concentrations de minerais sur les points les plus ramifiés de leur allure ; sur ces points furent ouvertes les mines les plus productives, dont quelques-unes, telles que la Caroline, la Dorothée, etc., étaient encore en grande extraction en 1812 et avaient atteint la profondeur de 400 mètres. Depuis cette époque elles ont été approfondies de plus de 200 mètres, et ont toujours soutenu la production, de telle sorte qu'on a dû admettre que les mine-

Digitized by Google

rais qui, dans le sens de la direction, sont interrompus par des zones stériles considérables ont beaucoup plus de continuité suivant l'inclinaison. La profondeur actuelle des mines de Clausthal a dépassé 650 mètres.

Les filons du cercle d'Andreasberg, si différents, dans les conditions de leur allure, des filons de Clausthal, nous offrent un exemple non moins frappant de la continuité des minerais en profondeur. En 1812, ces filons étaient explorés jusqu'à la profondeur maximum de 510 mètres; on y avait trouvé le minerai en rubannements interrompus dans tous les sens, ayant 15 à 30 mètres au plus de continuité. A 660 mètres on a rencontré un des plus beaux rubannements dont on ait conservé la mémoire, et certaines mines ont été approfondies jusqu'à 800 mètres sans qu'il y ait eu de perturbation dans les conditions générales de répartition des minerais.

Nous trouvons en Saxe des enseignements non moins précieux que ceux du Hartz. La production s'y est continuée depuis 1815 par l'approfondissement général des mines. Mais, aux environs de Freiberg, le niveau moyen des exploitations, qui est arrivé entre 390 et 400 mètres, étant près d'être exploité sans que les moyens mécaniques dont on dispose pour l'épuisement des eaux et l'extraction des minerais pussent conduire au delà, on dut songer à assurer l'avenir par de nouveaux travaux. Il s'agissait de pratiquer une galerie d'écoulement à partir de la vallée de l'Elbe, galerie qui doit laisser derrière elle celles qui ont été exécutées au Hartz et en Hongrie, et transporter le niveau moyen des exploitations au-dessous de 600 mètres.

M. de Beust publia à cette occasion un grand travail où il établit que les divers systèmes de filons, étant recoupés en profondeur, devaient, d'après toutes les données de la théorie et de la pratique, présenter un vaste champ à l'exploitation. La continuité des minerais en profondeur ne fut pas mise en doute, et cette opinion de M. de Beust, appuyée par tous les conseillers des mines, par l'autorité si puissante de M. de Humboldt, enfin, on peut le dire, par l'opinion unanime des praticiens et de toute

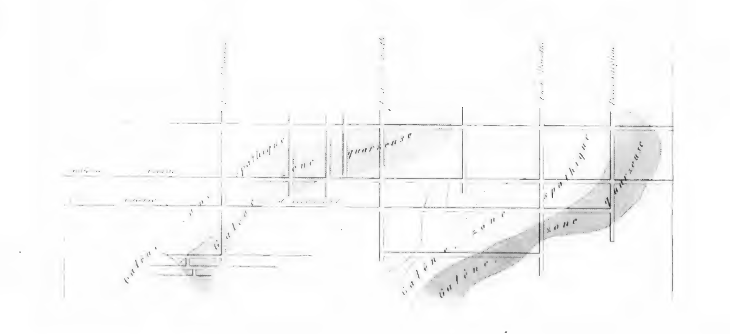
Digitized by Google

la population des mines, fut adoptée par le gouvernement saxon. Une confiance absolue accueillit cette décision ; les travaux furent commencés en 1844, et pas une voix ne s'éleva contre cette application hardie des grands principes de l'art. Certes, s'il eût existé parmi les praticiens de la Saxe une opinion contraire à la continuité de la richesse des filons en profondeur, elle n'eût pas manqué de se produire à cette occasion, car nulle part la richesse n'a eu plus de mobilité. Les mines d'Himmelfurst qui, du temps d'Héron de Villefosse, étaient les plus productives, sont aujourd'hui dans une situation très-médiocre, tandis que les mines d'Himmelfahrt, qui n'étaient que peu estimées, sont devenues les plus riches ; mais ces variations n'ont pas fait révoquer en doute les produits de l'avenir, parce que, en embrassant un vaste champ d'exploitation, l'expérience a démontré que la production pouvait être soutenue et développée. Le seul fait qui ait été discuté fut la substitution des méthodes d'approfondissement employées au Cornwall, c'est-à-dire l'emploi de puissantes machines à vapeur, au percement de la galerie d'écoulement.

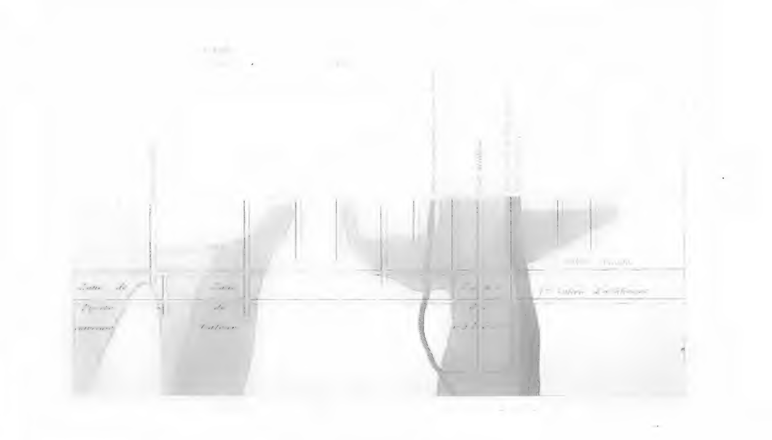
Les adversaires de la continuité des minerais en profondeur ont cru trouver un argument dans l'irrégularité de richesse que nous avons signalée nous-même dans les filons de Freiberg. Mais, nous le répétons, la continuité des minerais ne doit pas être confondue avec leur régularité.

Un filon présente des passages riches auxquels succèdent des passages pauvres ; en plaidant en faveur de la continuité, nous voulons dire qu'il n'y a aucune raison pour arrêter les travaux devant ces passages pauvres, parce que, bientôt, ils disparaîtront eux-mêmes pour faire place à de plus riches. Les documents fournis par les annales de l'exploitation prouvent qu'un filon qui, jusqu'à la profondeur de 3 ou 400 mètres, a présenté des alternatives de richesse et de pauvreté, présentera, suivant toute probabilité, des alternatives de même nature dans les 3 ou 400 mètres qui suivront. C'est en embrassant dans une même exploitation plusieurs filons qu'on se met à l'abri de ces variations et que la production se régularise.

Digitized by Google



Digitized by Google



Digitized by Google

Sans doute, l'irrégularité de l'allure des zones métallifères, même dans les filons cités comme les plus réguliers, les inflexions souvent inattendues que ces zones font dans leur descente vers les foyers d'où elles sont émanées, les variations qu'elles présentent dans leur composition, ont souvent créé des embarras et entravé les travaux d'exploitation ; mais jamais la continuité réelle des zones ne s'est trouvée interrompue de manière à justifier cette assertion que les minerais disparaissent en profondeur.

Les filons de Clausthal peuvent servir à préciser quelques-unes de ces allures des zones métallifères.

Deux filons du Burgstadter Zug, un des principaux faisceaux des environs de Clausthal, présentent les dispositions de minerais indiquées par les coupes ci-jointes (planches XXIV et XXV). Ces coupes nous ont été rapportées par M. Pothier, qui, dans un voyage qu'il a fait au Hartz, s'est spécialement occupé de toutes les questions relatives à la continuité des minerais en profondeur.

On voit, d'après la coupe du filon de Kranich, planche XXIV, que les minerais sont disposés dans deux séries de zones distinctes par leurs gangues, les zones quartzeuses et les zones spathiques. Cette coupe embrasse un espace de 1200 mètres de longueur et une profondeur de plus de 500 mètres, atteinte par les puits Dorothée, Éléonore, etc.... Dans ce trajet, les puits, vu la grande inclinaison des zones métallifères, ont traversé des milieux très-différents, tantôt riches, tantôt stériles; mais, malgré ces variations et pour la régularité de l'exploration et de l'exploitation, les travaux ont dû conserver la rectitude indiquée.

Ce qui est remarquable dans ce filon, c'est la forte inclinaison et les contours irréguliers des zones métallifères, bien que le filon soit presque vertical. Les variations de l'écartement des épontes, leur écroulement en certains points et les obstructions qui durent en résulter furent sans doute les causes de ces irrégularités et de l'inclinaison que l'on observe dans les deux zones.

Cette inclinaison n'existe pas dans les zones métallifères du filon principal (Hauptgang) de Burgstadt. La planche XXV montre ces zones à peu près verticales, quoique également très-irrégulières dans leurs contours. Ce filon est croisé par le précédent, vers le puits Éléonore, et le croisement de ces deux filons contemporains, ou plutôt la partie commune que l'on a appelée le *clou* a présenté le phénomène d'un enrichissement très-considérable. Dans la seconde zone métallifère du Burgstadt le cuivre pyriteux forme une zone spéciale dans laquelle le minerai est principalement accumulé vers les limites extérieures.

Les parties les plus riches de ces deux filons sont en même temps les plus puissantes, de telle sorte que les minerais remplissent de véritables cheminées montantes de fond : à cet égard nous rappellerons ce que nous écrivions en 1844, après une étude des filons du Harz : « Les concentrations de minerais paraissent principalement liées à la forme renflée et divisée des filons et nullement à la nature des roches encaissantes. On ne peut faire à ce sujet que deux hypothèses : ou les matières métallifères ont été amenées de préference sur les parties les plus dilatées, parce que les sections que présentaient ces parties des filons constituaient des canaux plus directs et plus libres vers la surface, ou plutôt encore ces points, sur lesquels les formes des fractures deviennent compliquées et ondulées, étaient plus aptes par leur disposition à échapper à l'influence de remplissage par les débris des épontes, et, restant ainsi les évents les plus naturels entre l'intérieur et la surface du globe, ils ont offert aux sublimations métallifères un passage plus constant et plus prolongé. »

On retrouve dans beaucoup de contrées l'application de ce principe : que, toutes les fois que des filons traversent des roches de composition différente, les parties les plus métallifères sont celles dont les roches encaissantes présentaient les cassures plus stables et dont les épontes avaient moins de tendance à s'écrouler.

Le Harz est de tous les pays de mines celui où les travaux ont été les plus développés dans le sens de la profondeur, il est donc

celui où l'on trouve le plus d'éléments pour étudier non-seulement la continuité des minerais, mais aussi celle des filons eux-mêmes.

Le filon le Samson, d'Andreasberg, n'est connu que sur une longueur de 700 mètres en direction; or ce filon est aujourd'hui exploré jusqu'à la profondeur de 800 mètres, sans qu'aucune altération dans son allure ait pu faire présumer une suppression.

Voici donc un exemple d'un filon dont la continuité suivant l'inclinaison dépasse la continuité en direction. Mais le Samson n'est qu'une fissure du sol de $0^m,60$ d'écartement moyen; si cette petite fissure offre de pareils traits de continuité, quelle hypothèse peut-on faire sur la continuité en profondeur des filons de Clausthal, qui ont 10 mètres de puissance moyenne et 8000 mètres de direction?

Les environs d'Andreasberg nous offrent plusieurs exemples de filons explorés à des profondeurs peu différentes de leur continuité en direction; il y en existe d'autres à Joachimsthal; d'autres dans le Cornwall où, par exemple, les mines de Dolcoath ont reconnu jusqu'à plus de 600 mètres de profondeur des filons qui n'ont présenté aucune variation d'allure, quoique leur direction ne fût guère que de 800 mètres.

Ainsi, dans les districts classiques de l'Allemagne, la continuité des minerais en profondeur se trouve démontrée par la continuité de la production, malgré les difficultés qui résultent de la diminution progressive du prix des métaux et de l'accroissement des frais d'extraction par suite de l'approfondissement des mines. Les exploitations de ces districts ont été maintenues grâce à leur réunion, qui permet à celles dont la richesse s'accroît de soutenir celles dont la richesse diminue, et grâce à la sage administration qui les régit.

Voyons maintenant ce qui s'est passé dans les districts métallifères qui ne jouissent pas de ces avantages et où les filons abandonnés à leur individualité ont dû subir toutes les chances résultant de la variabilité de leur composition.

Dans toutes les contrées où les filons se trouvent dans cette

Digitized b

condition d'exploitation isolée, les travaux ouverts dans un grand nombre d'entre eux ont été successivement abandonnés et repris : abandonnés lorsque les accidents ou la rencontre des zones pauvres rendirent l'exploitation onéreuse, repris ensuite avec des ressources nouvelles et ramenés à une période de production. Ainsi les mêmes filons ont été successivement et à plusieurs reprises déclarés riches et épuisés : épuisés toutes les fois que les exploitants s'étaient découragés ; riches, après l'exécution de nouveaux travaux qui avaient permis de franchir les zones désavantageuses. Tels sont les faits dont nous citerons plusieurs exemples; chaque reprise, après un abandon plus ou moins long, étant un témoignage en faveur de la continuité des minerais.

Le massif de transition du Rhin, qui, dans les provinces du Taunus et du Hunsdruck, contient un grand nombre de filons, présente ce fait remarquable, qu'il y a environ vingt ans presque toutes les exploitations étaient languissantes ou délaissées. Cet abandon était résulté de la baisse progressive du prix du plomb, qui avait déterminé une diminution considérable des produits, tandis que les frais d'exploitation devenaient d'autant plus coûteux que les mines s'approfondissaient davantage et que les frais d'exhaure étaient plus grands. Les filons de cuivre eux-mêmes avaient subi le même abandon.

Depuis dix ans, l'emploi de la blende dans la fabrication du zinc est venu donner à ces filons un nouvel intérêt, et beaucoup de ceux qui avaient été délaissés et jadis déclarés inexploitables ont été repris avec avantage. Le succès de cette reprise est surtout remarquable pour les filons cuprifères auxquels la valeur accordée à la blende ne pouvait profiter et dont l'abandon ne pouvait être attribué à d'autre cause qu'un appauvrissement réel en profondeur.

Telle était la tradition qui pesait sur les beaux filons de quartz cuprifère du Firneberg et du Marienberg qui dominent la vallée de Rheinbreitbach.

L'on ne trouvait dans les affleurements de ces filons puissants que des quartz compactes dont la nature métallifère était à peine

Digitized by Google

indiquée par la présence de fragments de phosphates ou d'arséniate de cuivre et par quelques débris de cuivre sulfuré qui avait été, suivant toute probabilité, le minerai normal en profondeur. La composition de ces affleurements n'était donc pas de nature à encourager les travaux de reprise, si l'accumulation des déblais en haldes très-étendues et les scories des anciennes fonderies n'avaient justifié la tradition qui signalait les filons comme ayant présenté de grandes richesses. Ces richesses étaient d'ailleurs attestées par l'étendue des anciens travaux dans lesquels on avait pu rentrer; on avait relevé une galerie d'écoulement de plus d'un kilomètre de longueur au-dessous de laquelle les travaux anciens étaient descendus, et ces premières tentatives avaient été abandonnées par suite des raisons ordinaires qui font déclarer un gîte appauvri et terminé en profondeur. Les minerais étaient très-mélangés, les eaux gênaient et des accidents avaient limité le champ d'exploitation. L'abandon était complet, lorsqu'en 1840 MM. Rhodius, appuyés des conseils du savant M. de Dechen, reprirent les travaux en les assurant par une machine à vapeur; aujourd'hui les zones métallifères sont retrouvées.

Les filons d'Holzappel furent longtemps considérés comme fermés en profondeur dans une certaine partie de leur course. Une étude plus attentive démontra que ces filons, dont les plans se rapprochent beaucoup des plans de stratification du terrain encaissant, avaient simplement éprouvé un déplacement latéral de 10 à 15 mètres, passant ainsi d'un clivage dans un autre, et que les deux parties étaient réunies par une fente de raccordement horizontal, laquelle était serrée de telle sorte, qu'elle avait échappé aux premières recherches. Cet exemple, parfaitement décrit par M. Bauer, a détruit une des objections principales faites à la continuité, et l'existence des minerais retrouvés au-dessous de ces changements d'allure confirme, par un fait de plus, les principes établis par la géologie.

Ainsi, non-seulement des exploitants peuvent être conduits à abandonner un filon par la rencontre de parties moins avanta-

geuses, et même par une disparition momentanée du minerai, mais un simple accident mal interprété peut arrêter les travaux. L'abandon peut encore s'expliquer dans beaucoup de cas par l'insuffisance des moyens d'exploitation ; nous en trouverons des exemples même en Cornwall, où l'esprit de recherche et d'exploitation est cependant plus actif et mieux secondé que partout ailleurs.

En Cornwall, les mines s'approfondissent en effet d'une manière générale et rapide, par l'application des machines à vapeur sur la plus grande échelle, et les produits vont toujours se développant en raison des travaux. Les capitaines des mines de ce pays sont sans contredit les plus hardis praticiens; la stérilité des affleurements ne les effraye pas, et nombre de filons qui ne présentaient dans les parties supérieures que le gossan stérile ont été trouvés productifs dans des zones de 200 à 400 mètres. On avait d'abord cru qu'à partir de 400 mètres la richesse diminuait un peu, mais aujourd'hui beaucoup de mines ont atteint avec succès des profondeurs de 500 à 600 mètres.

Les mineurs du Cornwall admettent comme règle générale dans leurs travaux que les parties inférieures aux milieux les plus métallifères sont celles qui présentent les plus grandes chances pour la continuation des travaux fructueux.

La production des filons du Cornwall est plus stable que partout ailleurs, en raison des ressources dont les exploitations disposent. Néanmoins on y trouve encore des exemples de travaux abandonnés par suite d'appauvrissements supposés, repris ensuite avec des moyens plus énergiques et donnant en profondeur les produits les plus avantageux. Parmi ces exemples, il n'en est pas de plus frappant que le filon principal exploité par la compagnie de *Great Devon Consols*. Ce filon, après trente-cinq années d'abandon, fut repris sur la simple pensée que les parties supérieures, ayant été riches, ne pouvaient pas être stériles au-dessous des anciens travaux, et le succès obtenu fut tel, qu'on en extrait par année plusieurs milliers de tonnes de minerais préparés.

Que l'on recueille ainsi tous les documents, toutes les opi-

nions compétentes qui peuvent expliquer l'abandon d'un grand nombre de filons, même dans les pays où l'industrie des mines est très-active, et l'on verra que cet abandon résulte généralement d'accidents et d'appauvrissements qui n'étaient que passagers, ainsi que le démontrent les succès obtenus dans les travaux de reprise. De ces contrées instruites et expérimentées dans l'art d'exploiter, transportons-nous en Algérie, où tout est nouveau, pratique et théorie, et nous y trouverons également les deux méthodes de travail ; celle qui prend pour guide la négation des théories, et celle qui procède d'après les principes de continuité admis en Allemagne et en Angleterre.

L'Algérie est un pays de filons, l'un de ceux où l'idée de la continuité des minerais en profondeur présente la plus grande importance. On y rencontre tantôt des filons de baryte sulfatée et de fer spathique contenant du cuivre gris, comme dans la vallée de Mouzaïa ; tantôt des filons à gangue de spath calcaire, ferrifère et magnésien, contenant de la pyrite cuivreuse, comme dans la vallée de l'Oued-Merjah et dans celle de l'Oued-Allelah, près de Tenès. Ces filons, généralement peu puissants et très-ramifiés à la surface, traversent des terrains que l'on considère comme les équivalents de nos terrains crétacés supérieurs.

Les minerais qui viennent affleurer vers la surface, le plus souvent en veines multipliées et ramifiées, présentent-ils des garanties suffisantes de continuité pour qu'on puisse y ouvrir des travaux importants et profonds, sans lesquels l'exploitation ne pourrait être établie d'une manière sérieuse et durable ? Telle est la question que l'on s'est posée, et à laquelle la théorie seule pouvait répondre, dans un pays nouveau où l'on ne trouve aucun précédent d'exploitation, aucune tradition pratique qui puisse servir de guide.

Les travaux exécutés depuis dix ans peuvent déjà fournir quelques éléments de réponse à cette question.

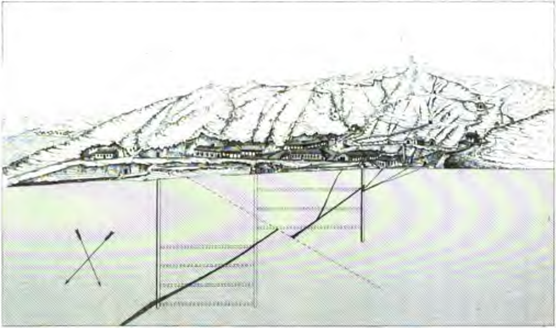
Les mines de Mouzaïa, qui comprenaient les filons les plus puissants, ont été exploitées les premières et d'après les principes de la négation de continuité en profondeur. Si l'on exa-

mine les opinions émises par les adversaires de la continuité des minerais et d'autre part les travaux exécutés sur les filons de Mouzaïa, il semble, en effet, que ces travaux soient l'application exacte des doctrines qui posaient en principe : que l'on doit exploiter le minerai qui se présente, le suivre tant qu'il est visible, mais ne point hasarder de travaux de profondeur dans les roches stériles sur des idées de continuité, idées purement théoriques et qui peuvent devenir dangereuses. Les filons furent attaqués à ciel ouvert et suivis par des descenderies tant qu'on put les croire avantageux à exploiter.

Cette méthode de travail peut être jugée par ses résultats. Les filons ainsi poursuivis par des travaux maintenus dans le gîte présentaient des chantiers d'extraction qui s'appauvrirent successivement et furent successivement abandonnés, de telle sorte que les régions supérieures se trouvèrent épuisées sans qu'il y eût rien de préparé pour l'avenir et sans que l'on ait rien appris sur la loi de distribution des minerais en profondeur [1].

Les défauts de cette méthode sont palpables. La continuité des gîtes n'entraîne pas, en effet, la continuité absolue et régulière des minerais ; il n'est pas de partie riche qui ne finisse par s'appauvrir, et, lorsque cette partie riche a été suivie par des travaux irréguliers, le service d'extraction et d'épuisement y devient impossible, de telle sorte que le premier appauvrissement est nécessairement le signal de l'abandon. On arrive ainsi à cribler les affleurements de travaux qui n'ont aucune valeur pour la suite de l'exploitation, et, après avoir exploité les richesses faciles, sans avoir rien préparé pour la profondeur et sans avoir rien appris sur les lois qui peuvent exister dans la distribution des minerais, on n'a plus d'autre alternative que l'abandon ou l'entreprise des travaux par lesquels on aurait dû commencer.

[1] Nous ne voulons pas parler ici des travaux commencés en 1845 par M. Pothier : ces travaux, qui révélèrent l'importance des filons, consistaient en galeries d'écoulement qui recoupèrent les filons, et en galeries d'allongement qui préparèrent l'abattage régulier des massifs ; mais ce système fut abandonné par les successeurs de M. Pothier, qui ont attaqué les filons principaux par les affleurements ou par des galeries superficielles.



Coupe du filon de Coulbulack

Tel est l'historique de la première période de l'exploitation de Mouzaïa; mais cependant la conviction qui résulte de ces premiers travaux, tout incomplets qu'ils ont été, est que non-seulement les filons se continuent en profondeur, mais que les minerais suivent la même loi, malgré l'irrégularité apparente de leur distribution.

Sur quelques points, et notamment aux filons d'Aumale, on a constaté que les ramifications nombreuses que présentent les affleurements sont superficielles et qu'un grand nombre de ces veines d'affleurements se réunissent en profondeur pour former un filon puissant et régulier.

Cette disposition convergente de plusieurs filons de la surface, pour se réunir dans la profondeur en un seul, est un fait qui n'est pas nouveau dans l'histoire des mines, mais qui paraît se répéter souvent en Algérie. Dans les argiles crétacées qu'ils traversent, les filons sont volontiers dispersés et *coureurs;* en profondeur et lorsqu'ils traversent un milieu plus solide, ces petits filons se réunissent et forment un seul faisceau dont l'unité est très-avantageuse à l'exploitation. Les filons de la vallée de Boukhandak, à Tenès, sont dans ce cas (planche XXVI).

Ce petit vallon, exploré pour la première fois en 1845, présentait, sur l'un de ses versants, une grande quantité de veines composées d'un fer spathique impur et décomposé, et de pyrite cuivreuse disséminée dans cette gangue et disposée en plaquettes et rubannements ; un piton, particulièrement sillonné par ces lons coureurs, avait l'apparence d'un véritable stockwerk. Les travaux qui ont été entrepris ont démontré que la plupart de ces petits filons convergeaient en profondeur vers un filon principal qui est devenu le siége de l'exploitation et dans lequel le minerai s'est non-seulement soutenu, mais enrichi. Des puits ont été foncés de manière à recouper le filon en profondeur, et les travaux ont été conduits dans le gîte d'après ce principe : que le minerai ne pouvait faire défaut, puisque l'on se trouvait au centre d'une zone riche et qu'en donnant une bonne direction aux puits et galeries on arriverait à suivre les minerais

Digitized by Google

et à les exploiter dans les meilleures conditions. Cette méthode a permis de déterminer la loi de distribution du minerai. On a en effet reconnu que les minerais formaient, dans le plan du filon, une zone oblique, ayant une largeur moyenne de 45 mètres et descendant en profondeur sous un angle de 30 degrés, de manière à passer dans une vallée voisine où l'on ne voyait aucun affleurement et où cependant un puits fut ouvert, qui trouva le filon en profondeur riche et développé.

Cette disposition des minerais dans le filon de Boukhandak répond aux principales objections dont le principe de continuité en profondeur a été l'objet. La zone riche est oblique, limitée du côté du nord par un étranglement sinueux, et du côté du sud par un accident en forme de rejet au delà duquel le minerai continue, mais sensiblement plus pauvre. Dès lors, des bures verticaux, après avoir suivi le minerai pendant une certaine hauteur, doivent nécessairement le perdre et entrer dans la partie pauvre; d'où résulterait qu'après le percement de plusieurs bures intérieurs on aurait pu se croire autorisé à déclarer qu'il n'y avait pas continuité en profondeur et qu'il y avait lieu d'abandonner le filon.

Les filons de l'Algérie sont destinés à soulever plus d'une fois les questions de théorie, et déjà les ingénieurs qui se sont consacrés à l'exploitation de ces filons ont eu occasion d'appliquer les principes de continuité en profondeur, et de donner l'exemple d'une heureuse conviction dans les faits constatés par la pratique de tant de siècles et confirmés par les théories modernes.

En résumé, si l'on se reporte à la description que nous avons précédemment donnée de l'allure des zones métallifères dans les filons du Dillenburg, du Harz, etc., on se rendra compte des irrégularités que ces zones peuvent présenter, irrégularités qui peuvent rendre l'exploitation d'un filon difficile et intermittente, mais dont toutes les allures peuvent être définies par des travaux persévérants et intelligents.

Cet examen des formes affectées par les zones métallifères

dans les filons vient donc à l'appui de toutes les autres observations pour démontrer que les filons sont bien réellement des cassures produites dans l'écorce terrestre, cassures plus ou moins écartées, plus ou moins remplies par les débris incohérents des épontes écroulées, dont les parties vides ont servi d'évents aux émanations de l'intérieur du globe vers la surface. Ces parties vides, ainsi que celles qui étaient obstruées par des débris non tassés, ont été progressivement remplies par tous les phénomènes d'émanation et par toutes les réactions qui ont produit les minerais et leur gangues spéciales, telles que le quartz cristallisé, les spaths calcaires, manganésiens ou ferrifères, le spath-fluor et la baryte sulfatée.

Ces cassures n'ont pas toujours été bien nettes et indépendantes du terrain encaissant, comme celles du Harz, de la Saxe, du Cornwall, etc. Les clivages naturels de l'écorce terrestre, c'est-à-dire les plans de stratification et de séparation des terrains stratifiés, surtout lorsque ces terrains ont été relevés jusque près de la verticale, ont présenté des phénomènes de distension et d'écartement qui ont donné naissance aux filons de contact dans lesquels la distribution des minerais paraît soumise à des conditions encore plus complexes.

De la continuité des minerais dans les gîtes irréguliers. — Parmi les gîtes irréguliers, ceux qui se rapprochent le plus des filons, les filons de contact, présentent déjà beaucoup moins de régularité dans la distribution intérieure des minerais; les oscillations entre la richesse et la pauvreté sont d'autant plus sensibles, que l'on passe d'accumulations considérables à des parties complétement stériles. Cependant, en examinant ces gîtes avec soin, on reconnaît que dans beaucoup de cas les profondeurs du sol ne présentent pas moins de richesses que les parties voisines de la surface.

Le beau filon de Monte-Catini en Toscane fut exploité, pendant neuf années, par l'honorable M. Porte, dont l'existence fut si laborieuse dans la reprise des mines de ce pays. Les produits avaient été toujours médiocres, et la confiance de M. Porte

Digitized by Google

était ébranlée, lorsque la compagnie qui lui succéda trouva, à 80 mètres en contre-bas de la première galerie d'écoulement, une des plus belles accumulations de cuivre panaché et pyriteux qu'on puisse citer dans l'histoire des mines. Depuis quinze années, les travaux se poursuivent dans ce filon, sans appauvrissement bien sensible, et les exploitants, guidés par cette continuité, ont entrepris avec confiance des travaux qui doivent assurer un approfondissement considérable.

Les mines de Rocca-Tederighi et plusieurs autres mines de cuivre de la Toscane sont ouvertes sur des filons placés, comme celui de Monte-Catini, au contact des gabbros et des serpentines. Les minerais s'y trouvent dans des conglomérats de frottement formés aux dépens des serpentines et des roches métamorphiques en contact avec elles; ils sont disséminés en rognons, en blocs, en amas isolés et cependant assez rapprochés pour former des zones métallifères dont on a pu constater et prévoir les allures. Mais, au lieu d'affecter l'allure rubanée des filons-fentes, ces minerais affectent une allure *en chapelet* qui laisse quelquefois dans de grandes incertitudes sur leur continuité.

Les filons de contact ne peuvent être aménagés comme les filons-fentes, pour une production régulière; leur puissance et leur richesse métallifère sont trop variables, et la production y subit nécessairement des alternatives considérables d'abondance et d'exiguïté. C'est alors que l'on voit les compagnies, qui n'ont pas fait de réserve pendant la prospérité, succomber dès que la mine se trouve réduite à l'extraction des minerais les plus pauvres. Et pourtant, dans ce cas encore, on peut bien dire qu'il y a irrégularité dans la distribution des minerais, mais non pas discontinuité absolue.

Les mines de Toscane présentent sous ce rapport des exemples convaincants. Les affleurements sont généralement peu riches et peu puissants, de telle sorte que, dans beaucoup de cas, les minerais des profondeurs du sol n'étaient indiqués vers la surface que par des minerais comparativement très-pauvres.

Cette dispersion irrégulière des minerais dans les gangues argileuses de certains filons de contact est déjà un premier élément d'incertitude; les variations considérables que subit la puissance, qui de moins d'un mètre s'élève souvent à plus de dix, en constituent un autre non moins influent sur les exploitations. Nous serons à même d'étudier ces variations dans tous leurs détails en examinant les gîtes irréguliers de contact subordonnés aux calcaires carbonifères.

Le calcaire carbonifère, que l'on appelle ordinairement en Angleterre calcaire de montagne ou calcaire métallifère, à cause des formes accidentées de sa surface et des nombreux gîtes de minerais qu'il renferme, peut recevoir les mêmes dénominations dans tout le pays rhénan. Il y présente, en effet, les mêmes formes montagneuses, les mêmes phénomènes de redressement, et contient une quantité considérable de gîtes de minerais de fer, zinc et plomb.

Tous ces gîtes sont de véritables filons de contact, situés le plus souvent entre les couches redressées du calcaire carbonifère et les schistes houillers ou anthraxifères qui lui succèdent. Ces filons, le plus souvent étranglés, présentent, d'intervalle en intervalle, des écartements considérables aujourd'hui remplis d'argiles, de sables et de minerais, c'est-à-dire de masses minérales toutes particulières dans lesquelles les minerais émanés de l'intérieur sont mêlés à des débris sédimentaires tombés de la surface.

L'étude de ces gîtes présente un intérêt tout particulier, car ils ont moins de rapport que tous les autres avec les roches éruptives; ce qui s'explique précisément par ce motif, que, leur formation étant due aux plans de fracture produits suivant les clivages naturels du sol, le voisinage des roches éruptives a été beaucoup moins nécessaire à leur création. De plus, le mélange fréquent des débris sédimentaires de la surface avec les minerais, jette, au premier abord, une telle incertitude sur leur origine, qu'il y a dix ans encore on les regardait comme produits par de véritables remblais tombés du jour dans des excavations naturelles.

Digitized by Google

Les principaux gîtes métallifères de ces contrées commencent à se montrer en Belgique, depuis Huy jusqu'au-dessous de Liége, dans la partie de la vallée de la Meuse qui suit le contact du calcaire carbonifère et du terrain houiller. Entre Liége et Aix-la-Chapelle, la Meuse quitte cette ligne géologique et, en même temps, les minerais qui continuent à suivre la même direction jusqu'au delà de Stolberg, et cessent lorsque le calcaire carbonifère est recouvert par les terrains modernes qui forment la vallée du Rhin. Mais, aussitôt que le calcaire vient à reparaître de l'autre côté du Rhin, vers Elberfeld et Brilon, les gîtes métallifères reparaissent avec lui.

Tous ces gîtes subordonnés aux calcaires carbonifères sont caractérisés par les mêmes minerais, qui sont : les oxydes de fer terreux et quelquefois le fer carbonaté concrétionné; le sulfure et le carbonate de plomb quelquefois mélangé de chlorure; le carbonate et les silicates de zinc formant des mélanges désignés sous la dénomination de calamines.

Les gîtes calaminaires de la vallée de la Meuse suivent, depuis Huy jusqu'au delà de Chockier, le système supérieur du calcaire carbonifère. Ce système comprend un étage de calcaire dolomitique, un étage de calcaire compacte, puis enfin un schiste alumineux qui forme la base du terrain houiller. Sur une ligne d'environ 50 kilomètres de longueur, l'ensemble de ces couches est non-seulement redressé, mais renversé, de manière à présenter une stratification inverse de la stratification réelle. Le terrain houiller et l'ampélite ou schiste alumineux semblent au premier abord antérieurs au calcaire carbonifère, qui les surplombe.

Les calcaires, dont les escarpements dominent la vallée sont souvent couronnés par des terres rouges disposées sur les cimes en forme de remblais, souvent même versées par-dessus le calcaire jusqu'au bas des escarpements. Ces terres rouges, qui semblent former des bastions sur les plateaux supérieurs, sont les schistes alumineux, exploités et grillés pour la fabrication de l'alun, qui, avant la séparation de la Belgique et de la

France, était très-active sur toute cette ligne. C'est à peine si depuis trente ans une végétation jaune et chétive a pu se développer sur ces terres calcinées, et ces saillies apparentes des anciennes haldes servent aujourd'hui de repère à une ligne géologique très-importante ; elles marquent la séparation du terrain anthraxifère et du terrain houiller, formée par les ampélites.

Cette ligne de contact des terrains anthraxifères supérieurs avec les ampélites alumineux qui constituent la base du terrain houiller est en effet la ligne métallifère la plus remarquable de la Belgique. C'est suivant le plan de contact des deux terrains que se trouvent enclavés les principaux amas ferrifères, zincifères et plombifères qui sont, à partir de Huy : ceux de Corphalie, de Flône, de la Mallieue, du Dos et des Fagnes, près Engis, sans compter un nombre d'autres qui fournissent des minerais de fer aux fourneaux des environs de Liége. Ces divers gîtes consistent en amas lenticulaires placés vers le contact assez enchevêtré des schistes alumineux et des calcaires anthraxifères, mais sans suivre exactement le plan de stratification qu'ils coupent quelquefois par un pendage rapide pour pénétrer dans les calcaires. On ne saurait mieux les comparer, lorsqu'ils ont été vidés, qu'à des soupiraux irréguliers montant vers le jour.

Ces gites quelquefois rapprochés sont sujets à se souder par des bifurcations bizarres et inattendues, à se ramifier par des branches qui tantôt se terminent en traînées décroissantes, et tantôt en poches arrondies. La coupe du gîte de la Mallieue, près Engis (planche XXVII), indique assez bien les irrégularités de cette allure.

La composition des gîtes de la Meuse est assez homogène ; c'est un mélange de zinc carbonaté, d'argile et d'hydroxyde de fer. Ce mélange n'a aucune structure définissable, et les divers minerais y sont tour à tour dominants sans qu'on ait pu saisir aucune loi de structure. La calamine et l'oxyde de fer s'isolent en blocs et morceaux cariés, cloisonnés et mamelonnés, enchevêtrés irrégulièrement les uns dans les autres, et cimentés par

des parties argileuses ou même sablonneuses, comme les meulières dans certains sables des environs de Paris. La calamine se trouve surtout vers les zones extérieures des gîtes, au contact des calcaires, le centre étant ordinairement plus terreux ; enfin, on rencontre souvent, concentrées vers les périmètres et même remplissant des espaces spéciaux, de la blende, de la galène et de la pyrite de fer blanche et radiée.

La blende qui caractérise ces gîtes a une physionomie tout à fait particulière : elle est d'un blanc jaunâtre, et tellement compacte, qu'elle ressemble à un calcaire d'un aspect un peu résineux; souvent elle est mamelonnée, et forme des noyaux concentriques avec la galène et la pyrite de fer.

Après l'étude des matières qui remplissent les gîtes, celle des roches encaissantes est sans contredit la plus intéressante, car elle peut seule guider l'exploitation dans des terrains aussi mélangés et si peu réguliers.

Le calcaire, lorsqu'il est enclavé dans les gîtes, où il forme volontiers des blocs isolés, est ordinairement transformé à l'état de dolomie plus ou moins ferrugineuse et zincifère. Cette dolomie est jaunâtre, un peu friable, très-fendillée, sillonnée de petits filets calaminaires. Le contact général du calcaire avec les minerais a plus ou moins subi les mêmes transformations, et, lorsqu'il n'est pas altéré dans sa composition, il est saccharoïde et même clivable, au point de fournir des rhomboèdes d'assez grande dimension. Le plus souvent il participe des deux caractères, il est cristallin et pénétré de petites veines dolomitiques ; en un mot, il est dans un état métamorphique très-prononcé.

Le contact des gîtes et du calcaire est rarement lisse comme celui des filons, mais très-enchevêtré et très-inégal ; on remarque que les parties calcaires les plus saillantes et les plus engagées dans les minerais sont les plus complétement transformées, tandis que l'altération est d'autant moins prononcée qu'on s'éloigne davantage des contacts.

Les altérations que nous venons de signaler s'appliquent surtout aux roches du toit, les roches du mur ayant le plus souvent

Digitized by Google

des caractères différents. Le schiste alumineux forme en effet, dans beaucoup de cas, le mur des gîtes. Ce schiste, à l'état normal, est tendre et très-fendillé, mais, au contact des minerais, il devient dur et même siliceux ; il est fendillé, et les fissures sont souvent pénétrées de minerais qui le transforment en une sorte de brèche. La blende, la galène et la pyrite, quelquefois rassemblées vers le mur des gîtes, empâtent les schistes endurcis et altérés, et présentent les magmas les plus divers, dont l'apparence éveille tout d'abord l'idée d'une action métamorphique des plus énergiques.

La pénétration des minerais dans les schistes est d'autant plus intéressante à examiner qu'elle exprime souvent, sur une petite échelle, des phénomènes de structure qui, dans certains cas, se reproduisent sur une échelle très-considérable. Ainsi le groupement des minerais sulfurés est surtout globuliforme et à zones concentriques; de telle sorte qu'en brisant un morceau de schiste on trouve quelquefois une section de ces rognons pyriteux, formant une sorte de cocarde irrégulière, à structure bacillaire, et qui semble isolée dans un milieu tout à fait distinct. Mais, en cassant la roche dans un sens perpendiculaire, on reconnaît ordinairement que ces minerais, en apparence isolés, se relient à d'autres masses par des filets et des rameaux de même nature. Ces échantillons démontrent ainsi comment des amas ont pu se former en ne communiquant avec le foyer principal que par des canaux sinueux et de section réduite, et comment des veinules métallifères étranglées et presque insignifiantes peuvent conduire à des poches remplies de minerais.

On voit en effet, d'après l'ensemble des caractères que nous venons de décrire, que es gîtes calaminaires ne peuvent être attribués qu'à des phénomènes postérieurs aux terrains encaissants.

Ces phénomènes ont-ils agi de bas en haut, ainsi qu'il parait d'abord démontré par l'état cristallin et dolomitique des calcaires et le métamorphisme des schistes, aussi bien que par la présence des minerais sulfurés qui accompagnent la calamine et l'hy-

droxyde de fer? ou bien ne doit-on pas plutôt les considérer comme des actions de précipitation et de remblais venus d'en haut, qui auraient comblé des vides préexistants, ainsi que semblent l'indiquer l'état non cristallin et non rubané des minerais, et le mélange d'argile et même de sables qui s'isolent en masses considérables? ou plutôt encore les phénomènes ne sont-ils pas mixtes, et ne doit-on pas reconnaître dans ces gîtes sinueux l'existence d'antiques solfatares métallifères, dont les émanations souterraines ont dû traverser des matières amenées du jour?

Cette dernière hypothèse, que dans nos *Études sur les mines* nous avions déjà indiquée pour le gîte de Moresnet, nous paraît aujourd'hui démontrée d'une manière évidente par les gîtes de la vallée de la Meuse. Le remplissage mixte explique l'état peu cristallin des minerais, car plus les influences du jour ont eu de part au remplissage, moins les minerais sont cristallins. La calamine de la Mallieue est criblée de géodes cristallines et de mamelons saccharoïdes lorsqu'elle s'isole en masses pures et de grandes dimensions; lorsqu'au contraire elle est très-mélangée d'argiles et de sables, la structure est compacte et cariée. Le même fait peut être observé à Moresnet, où les carbonates et silicates sont d'autant plus cristallins qu'ils sont plus isolés des argiles.

L'origine souterraine de ces minerais une fois démontrée, leur continuité en profondeur l'est également. Sans doute il existe des étreintes ou étranglements, mais ces étreintes ne peuvent être que passagères, et, les artères de continuité en profondeur étant supposées découvertes, il suffira de les suivre pour arriver à de nouveaux renflements.

Si l'on compare l'ensemble des minerais extraits aux environs d'Engis à ceux de la Vieille-Montagne, on y voit des différences assez prononcées. Le gîte de la Vieille-Montagne peut être considéré, non pas comme un amas unique, mais comme un groupe de plusieurs amas enveloppés dans le calcaire dolomitique et dans les argiles qui forment ce qu'on a appelé le bol calaminaire. Le carbonate de zinc y est accompagné d'une grande quantité

de silicates qui constituent la calamine proprement dite; rarement ces minerais sont mélangés de quelques sulfures métalliques, mais ils sont plus cristallins que les calamines de la Meuse. D'autre part, les calamines de la Meuse ne consistent guère qu'en carbonates; les silicates ne s'y trouvent pas, mais les sulfures tels que la galène, la blende et la pyrite de fer, y sont toujours en très-grande proportion.

Malgré ces différences, tous ces gîtes appartiennent évidemment aux mêmes phénomènes de formation.

D'après l'origine que nous avons supposée aux gîtes calaminaires, le plan de séparation du terrain houiller et du calcaire anthraxifère peut être considéré comme le clivage le plus facile suivi par les émanations métallifères; cependant elles n'ont pas constamment suivi ce plan, et quelques gîtes se trouvent soit dans le système supérieur du calcaire carbonifère, entre le calcaire bleu et le calcaire magnésien, soit dans les systèmes inférieurs, entre les couches schisteuses et calcaires.

Mais, si les gîtes appartiennent à des phénomènes postérieurs, qui ont ainsi suivi des plans de clivage des terrains superposés, ils doivent être liés à des perturbations locales dans la stratification, puisqu'en réalité ils n'existent pas d'une manière continue et régulière suivant les clivages des couches. De pareilles masses ne peuvent, en effet, avoir été intercalées sans qu'il y ait eu des mouvements antérieurs ou contemporains qui ont en quelque sorte préparé leur place et leur gisement. Ici vient se placer une série d'observations des plus intéressantes, dues aux recherches de M. Victor Simon.

Les couches du système anthraxifère et du système houiller sur la rive gauche de la Meuse sont concordantes et généralement inclinées de 50 à 70 degrés. Si donc on projette sur un plan les affleurements de direction de ces couches, on obtient une série de lignes parallèles qui, de Huy jusqu'à Chockier, suivent précisément la direction de la vallée.

Parmi ces lignes, celle qui indique le contact des calcaires supérieurs et du système houiller se maintient sur la rive gau-

che, à une distance de 3 à 600 mètres du fleuve; elle est d'autant plus facile à saisir, qu'elle se trouve signalée, ainsi que nous l'avons dit, par les nombreuses haldes des anciennes exploitations d'alun. Or, si l'on vient à la tracer rigoureusement, on remarque que cette ligne, régulière dans son allure générale, subit en quelques points des inflexions brusques dont la convexité est tournée vers la Meuse, c'est-à-dire vers les couches du terrain anthraxifère : ces dépressions indiquent précisément les emplacements occupés par les gîtes.

Ainsi considéré, le phénomène de la formation des gîtes calaminaires s'agrandit et prend tout l'intérêt d'une loi géologique. L'action qui a soulevé et renversé tout ce système de couches a également déterminé des points d'affaissement où le système calcareux a fléchi et laissé des vides intérieurs, le système houiller n'ayant suivi que d'une manière incomplète les mêmes inflexions. Ces vides ont dû être immédiatement remplis par les influences que nous avons précédemment signalées, et les émanations métallifères sont la suite naturelle des phénomènes qui ont déterminé cette grande révolution dynamique.

L'observation de M. Simon est la preuve la plus concluante qu'on puisse désirer de l'origine souterraine des gîtes calaminaires, et par conséquent de leur continuité en profondeur. Sous le rapport géologique, elle classe de la manière la plus heureuse, dans la théorie générale des gîtes métallifères, ces amas irréguliers dont les caractères spéciaux avaient pu paraître des anomalies.

Ajoutons une autre observation de M. Lesoinne, et l'on verra comment, dans une exploitation, tous les faits sont solidaires de la théorie. « Il est à remarquer, dit-il, qu'on a rencontré des eaux aussitôt qu'on a atteint les gîtes : cette présence constante des eaux dans les dépôts métallifères de ce genre est générale pour toute la province et très-digne d'attention. A Corphalie, par exemple, si l'on aperçoit dans les travaux quelque suintement venant du calcaire, on le suit par une galerie; si le suintement se bifurque, on établit deux galeries; et presque

toujours on est conduit ainsi à des cavités remplies de calamine. »

Cette remarque sur le régime des eaux souterraines n'est-elle pas la conséquence naturelle de celle de M. Simon, puisque les eaux suivent toujours les fractures principales du sol dans lequel elles circulent.

Les caractères observés dans les gîtes des environs d'Engis se retrouvent dans tous ceux de la vallée de la Meuse. Ainsi les gîtes de Corphalie sont dans des conditions géologiques tout à fait analogues à celles des gîtes précédemment décrits : l'exploitation a porté sur un amas principal, défini comme une masse cunéiforme dont la section horizontale était lenticulaire, et dont les plus grandes dimensions étaient vers la surface. Une pareille forme pourrait certainement éveiller l'idée d'un remplissage par le haut, si les minerais n'avaient été précisément remarquables par la proportion de blende et de galène qu'ils renfermaient, et si les altérations des roches en contact n'eussent été tellement prononcées qu'elles suffiraient seules pour accuser l'action souterraine. Aussi, malgré les circonstances qui avaient fait considérer le gîte comme épuisé lorsqu'on fut arrivé à la partie inférieure de l'amas, les recherches pour en trouver les prolongements ont réussi à soutenir l'exploitation.

Indépendamment des gîtes que nous venons de signaler sur la rive gauche de la Meuse, il s'en trouve encore quelques-uns entre Engis et Moresnet, qui sont plus connus par la tradition et les travaux des anciens que par les exploitations modernes. Tels sont les gîtes de Verviers, et de Prayon, qui paraissent dans des conditions de forme et de gisement analogues à celles que nous venons de signaler. Le gîte de Verviers est le seul qui ait été l'objet de travaux récents, et les faits qui ont été mis en évidence par ces travaux ajoutent encore quelques traits nouveaux à ceux que nous venons de signaler.

La forme du gîte de Verviers peut être considérée comme celle d'un canal à section grossièrement circulaire ou elliptique, dont les dimensions se développent à mesure que les travaux des

Digitized by Google

niveaux actuels descendent en profondeur. La planche XXVIII, qui en représente la coupe verticale, montre à la fois cette disposition et la manière dont ces travaux ont été conduits.

Une galerie d'écoulement, prise vers le fond de la vallée, au niveau des rues de Verviers, a dégagé environ 35 mètres de hauteur du gîte, que l'on a trouvé sillonné par les travaux des anciens qui avaient enlevé la galène dont la calamine est pénétrée : vers la partie supérieure, cette calamine semble s'épancher à la surface et forme une nappe horizontale, de sorte que l'affleurement occupe un espace qui semble d'autant plus grand qu'un resserrement prononcé succède à cet épanchement.

Un premier fait résulte de la structure de ce gîte ; c'est que la portion qui se trouve ainsi dénudée à la surface devait être la base d'un renflement considérable; que ce renflement communiquait par une partie étranglée à la partie souterraine du gîte, qui, à la profondeur actuellement connue au-dessous de la galerie d'écoulement, a toujours continué à suivre une allure croissante. Le centre est occupé par un noyau dolomitique qui se dilate aussi en profondeur et donne à la section horizontale du minerai l'apparence d'une zone annulaire.

La dolomie qui forme ce noyau central est jaune, très-fendillée, quelquefois grenue; elle contient plusieurs centièmes de zinc, et souvent est pénétrée de veines et de petits filons réticulés de calamine ou d'oxyde de fer, de manière à présenter l'apparence d'un stockwerk.

La présence de ces blocs dolomitiques dans les gîtes calaminaires soulève naturellement beaucoup de réflexions sur les détails du remplissage. Lorsqu'ils sont de petite dimension, on est conduit à les considérer comme simplement détachés du toit; mais ici, de même qu'à Moresnet, c'est une irrégularité de l'hiatus que le sol a dû présenter et qui a été remplie par les émanations métallifères. Le contact du minerai avec le calcaire est d'ailleurs très-inégal; outre une multitude d'anfractuosités de détail, il présente de nombreuses ramifications, formant des filons déserteurs qui ne tardent pas à s'amoindrir en s'éloignant

de la masse; on les abandonne généralement après quelques mètres de poursuite.

La composition du gîte de Verviers paraît devoir subir en profondeur des transformations considérables. Toute la partie supérieure est remplie de calamine ferrugineuse plus ou moins imprégnée de galène; cette galène avait déjà une assez grande importance, puisque les travaux des anciens ont été conduits jusqu'à 50 mètres de la surface, quoique le gîte fût très-aquifère; mais, à mesure que l'on est descendu dans la profondeur, la proportion de la galène a augmenté, tandis que celle de la calamine diminuait.

Cette galène est d'ailleurs assez remarquable par diverses structures. Tantôt elle est en gros noyaux sphéroïdaux, radiés du centre à la circonférence et noyés dans une argile ferrugineuse et calaminaire; d'autres fois elle est disséminée en rognons, dont la surface présente une multitude d'octaèdres; enfin on la trouve constituant un sable grossier, dont les grains octaédriques ou arrondis sont empâtés dans l'argile ordinaire du gîte. Dans les travaux du fond, elle est mélangée d'une proportion notable de blende, et l'hydroxyde de fer qui accompagnait la calamine dans les parties supérieures se transforme aussi en pyrite blanche concrétionnée.

Ainsi le zinc carbonaté et l'hydroxyde de fer se trouvent à un certain niveau presque complétement remplacés par des minerais sulfurés. L'exploration à une plus grande profondeur prend donc ici un grand intérêt, non-seulement sous le rapport des conditions de l'exploitation, mais aussi sous le rapport de l'instruction pratique qui peut en résulter pour beaucoup d'autres mines du pays. Il est probable qu'en descendant en profondeur, la proportion des sulfures augmentera toujours dans ces gîtes, et il doit résulter de cette transformation que certaines mines, notamment parmi celles qui fournissent les minerais de fer, deviendront inexploitables.

Beaucoup de minerais de fer exploités le long de la Meuse appartiennent, en effet, soit à des amas irréguliers, soit à des

filons dont l'origine paraît se confondre avec celle des gites calaminaires, et l'on peut dire que c'est seulement par exception que les minerais de zinc ou de plomb sont devenus dominants. La nature généralement calaminaire de ces minerais de fer se manifeste, dit M. Davreux, par la condensation des cadmies d'oxyde de zinc vers les gueulards des hauts fourneaux, et l'on trouve aujourd'hui sur un grand nombre de points où il existait des fourneaux des accumulations de ces cadmies sous forme de plaques compactes ou cellulaires. Ces cadmies attestent la nature calaminaire des minerais de fer exploités. Quelques-uns de ces minerais, comme ceux qu'on extrait aux environs d'Angleur, donnent à l'analyse jusqu'à 5 et 10 pour 100 de zinc et établissent la liaison minéralogique des minerais de fer avec les calamines.

Tous ces gîtes affectent des formes analogues à celles qui sont définies par les planches XXVII et XXVIII, l'une présentant l'exemple d'une allure dont la puissance se développe en profondeur, tandis que dans l'autre il y a une diminution rapide de la section.

Si nous jetons un coup d'œil sur l'ensemble du phénomène qui a donné naissance à la formation de ces minerais de fer, plomb et zinc, nous reconnaîtrons qu'une action postérieure aux dépôts houillers a soulevé ces dépôts ainsi que tous ceux des formations anthraxifère et ardoisière du pays, en donnant aux couches les plus fortes inclinaisons et les comprimant de manière à les renverser et à les ployer suivant les dessins si connus que nous fournissent les coupes des houillères; que cette action de soulèvement et de compression a déterminé les rides est-ouest dont la vallée de la Meuse est une des expressions les plus marquées, et que, si les roches soulevantes, qui accompagnent ordinairement les perturbations de cette nature, n'ont pu se faire jour jusqu'à la surface du sol, la force expansive s'est cependant manifestée, après les phénomènes dynamiques, par des actions métamorphiques et des intrusions métallifères.

Calcaire carbonifère

Calcaire carbonifère

Echelle

Ces actions se sont principalement exercées suivant les clivages les plus naturels des couches soulevées, et leur siége fut surtout le plan de séparation des formations anthraxifère et houillère. Ainsi les schistes qui forment la base du système houiller ont été transformés en ampélites alumineux, c'est-à-dire désagrégés, pénétrés de pyrites et de sulfate d'alumine. Outre cette altération des schistes, produite sur une grande échelle, il en est une, plus locale, qui ne se rencontre qu'au contact presque immédiat des gîtes ferrifères et calaminaires, c'est leur transformation en une espèce de schiste siliceux ou grès, dont la couleur intérieure reste noire, tandis que les surfaces des fendillements dont la roche est sillonnée en tous sens sont jaunâtres et ferrugineux. Ce grès fut d'abord considéré comme formant une couche particulière qui se trouvait à la base de la formation, mais les observations de M. Simon conduisent à conclure qu'il n'existe réellement que là où il y a des minerais, à tel point qu'il fait en quelque sorte partie des gîtes eux-mêmes.

L'altération métamorphique des massifs calcaires enclavés dans les calamines, massifs qui sont complétement transformés en dolomies ferrifères et zincifères, tandis qu'au simple contact cette transformation est moins prononcée et qu'elle diminue en raison directe de l'éloignement des minerais, est un fait remarquable dans tous ces gîtes. C'est une observation de plus à ajouter à la théorie de la dolomisation de M. de Buch, théorie tant de fois attaquée et que les faits viennent sans cesse confirmer. Un second effet de l'action soulevante et métamorphique fut l'établissement, suivant le plan de contact des schistes avec les calcaires, d'évents métallifères de formes irrégulières, tantôt consistant en soupiraux longs et sinueux, tantôt en véritables fractures à filons. Ces évents furent remplis par des hydroxydes de fer, des carbonates et silicates de zinc, des blendes compactes et des galènes, minerais auxquels se mélangèrent des sables et des argiles dont les éléments sont quelquefois empruntés aux roches voisines, et d'autres fois semblent d'une provenance éloi-

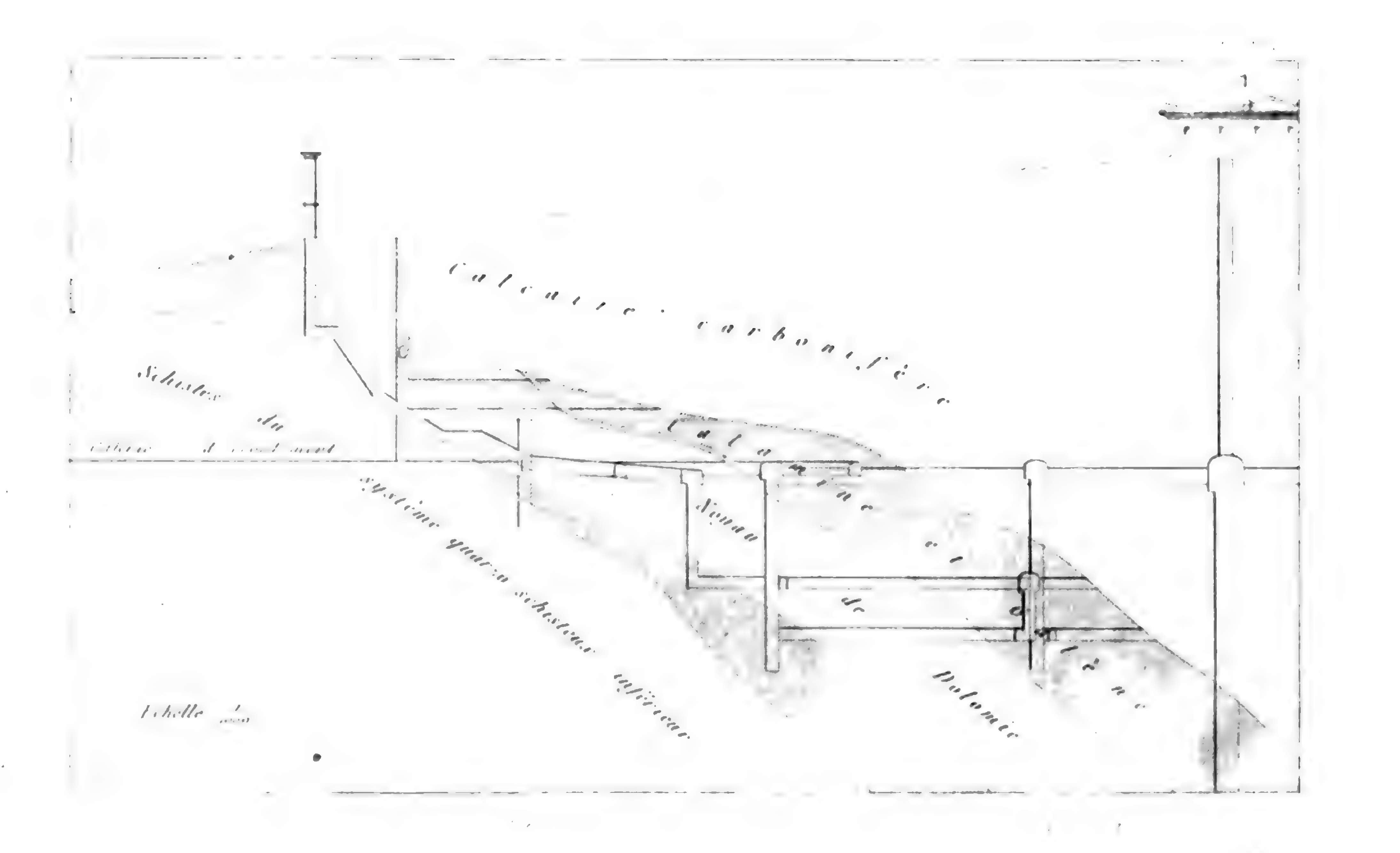
gnée et épurés par une longue action sédimentaire. La ligne principale, suivie par ces intrusions métallifères, s'étend d'une manière continue de Huy à Ampsin, Amay, Flône, Engis et Chockier; elle reparait d'une manière interrompue par les gîtes d'Angleur, Prayon, Verviers, Moresnet, Membach; elle entre en Prusse par les gîtes d'Herrenberg, de Diepenlinchen, de Breniegerberg, etc., aux environs de Stolberg, et se perd près de Duren, sous les terrains d'alluvion du Rhin, pour reparaître de l'autre côté avec les calcaires carbonifères d'Elberfeld.

Parmi les gîtes qui de distance en distance jalonnent cette longue traînée métallifère, il en est deux principaux dont l'étude peut fournir des éléments à la solution du problème de la continuité en profondeur. Ce sont les gîtes de Moresnet et de Diepenlinchen, célèbres tous deux, l'un par la grande masse de calamine qu'il fournit aux usines de la Vieille-Montagne, l'autre par une production en minerais de plomb qui atteignait, il y a quelques années, des chiffres considérables.

Le gîte de Moresnet est celui qui peut fournir les arguments les plus spécieux contre la continuité des minerais. On y trouve en effet l'exagération d'une circonstance que nous avons déjà signalée dans les gîtes de la Meuse : une dilatation excessive vers la surface et une grande accumulation des plus beaux minerais sur une étendue de plus de dix hectares, surface qui diminue en profondeur par des étreintes rapides, de manière à faire douter de la continuité des minerais.

Ce gîte, enclavé dans les calcaires, présente vers le centre un noyau dolomitique de plus de 100 mètres de diamètre, qui sépare les minerais en deux groupes et se dilate en profondeur de manière à réduire progressivement leur section; de telle sorte que la calamine, circonscrite de tous côtés par les inclinaisons rapides des calcaires et encaissée par des argiles ferrugineuses, semble avoir été déposée dans un bassin complétement fermé en profondeur. Telle fut l'hypothèse admise sur le gîte de Moresnet, jusqu'à ce que l'étude de tous les gîtes de même nature eût démontré que ces minerais si puissants à la surface

Digitized by Google



Digitized by Google

devaient se continuer par des veines plus ou moins rétrécies. Ces veines représentent les cheminées adductrices qui ont accumulé les minerais dans un évasement superficiel, où les émanations de l'intérieur se sont mélangées à des produits sédimentaires. Les travaux exécutés semblent en effet indiquer une véritable prolongation des minerais au delà des limites prévues, mais toujours est-il que l'exploitation souterraine se trouvera, en s'enfonçant, dans des conditions à la fois bien plus difficiles et moins fructueuses que l'exploitation à ciel ouvert des minerais superficiels.

Si l'on compare l'allure du gîte de Moresnet à celle du gîte de Verviers, on trouvera entre eux des analogies et des différences considérables.

Le gîte de Verviers formait, à la surface, une sorte de bassin de plus d'un hectare d'étendue; à 25 mètres de profondeur sa section était réduite à 150 mètres carrés, et ce n'est qu'en profondeur qu'il reprend une section plus considérable (planche XXVIII); il peut arriver que plus bas il soit de nouveau réduit à de plus faibles dimensions. Il existe, au centre de ce gîte, un noyau dolomitique qui, à Verviers comme à Moresnet, donne aux minerais exploitables la forme d'une zone annulaire, mais l'intervention de ce noyau n'empêche pas le développement des minerais. L'allure du gîte de Verviers, qui peut être citée comme exemple de continuité, est par conséquent un argument en faveur de la poursuite en profondeur des travaux de Moresnet.

Ces espèces de cratères superficiels, dans lesquels les produits métallifères des émanations souterraines se sont mélangés à ceux des actions sédimentaires de la surface, ne sont pas d'ailleurs des faits exceptionnels. Il est probable qu'on en pourrait multiplier les exemples si l'on avait des renseignements exacts sur beaucoup de gîtes qu'on signale comme superficiels et terminés en coins dans la profondeur. Ainsi quelques gîtes de l'Amérique paraissent s'être présentés dans des conditions tout à fait analogues à celles que nous venons d'indiquer. Les parties supé-

Digitized by Google

rieures étaient puissantes, évasées en forme de bassin superficiel; on y trouvait du cuivre natif et oxydulé, des hydrosilicates et des carbonates, tandis qu'en profondeur la pyrite cuivreuse, devenue à peu près le seul minerai, remplissait des canaux étranglés et sinueux.

Si ces faits n'altèrent pas le principe de la continuité en profondeur, il n'en est pas moins vrai que les formes irrégulières, rétrécies et difficiles à suivre, peuvent, dans les gîtes irréguliers, transformer les conditions de l'exploitation et les rendre désavantageuses. Il est également vrai que, dans certains cas, des gîtes semblables, déclarés finis en profondeur, ont été repris avec succès; tels sont, dans la contrée qui nous occupe, les gîtes de Corphalie près de Huy et ceux de Diepenlinchen près de Stolberg, composés d'amas lenticulaires de plomb carbonaté, calamine et galène.

Le gîte de Diepenlinchen est situé dans la vallée de Mausbach, près de Stolberg. Cette vallée, dont le fond suit des alternances redressées et déprimées de grauwackes, est encaissée par les relèvements parallèles du calcaire carbonifère, s'appuyant au nord sur des schistes anthraxifères qui forment les coteaux de Diepenlinchen, et, vers le sud, sur des grauwackes inférieures dont les couches, fortement redressées, forment les coteaux de Brenieg.

Les plateaux et les versants de Diepenlinchen et de Brenieg sont couverts de déblais et présentent une multitude de dépressions qui résultent évidemment d'anciennes exploitations. Dans les haldes principales, on trouve des débris d'oxydes de fer, de calamine, de galène et de plomb carbonaté, et sur ces indices des travaux considérables furent entrepris pour retrouver en profondeur les gîtes autrefois exploités. Les affleurements avaient été tellement perforés, qu'on n'avait que des idées très-vagues sur la composition de ces gîtes et sur leur forme; les travaux eurent cependant un succès complet, et à Diepenlinchen ils ont parcouru, sur une distance de plus de 2000 mètres, un filon situé au contact des calcaires et des schistes.

Digitized by

Au contact du filon, le calcaire est généralement très-dolomitique, de telle sorte que le terrain présente trois zones distinctes et rapprochées, les schistes, les dolomies et les calcaires. Le filon, placé entre les schistes et les dolomies, a une puissance ordinairement comprise entre 1 et 5 mètres, mais souvent il pénètre dans des cavités dolomitiques de manière à occuper une largeur beaucoup plus considérable et présente alors des caractères analogues à ceux que nous avons cités pour les gîtes calaminaires. Des sables et des argiles, évidemment venus des parties supérieures, se mélangent aux minerais et forment des magmas dont l'origine semble tout à fait différente de celles des autres gîtes métallifères.

Les minerais de Diepenlinchen présentent des différences notables avec ceux des filons proprement dits. La gangue est principalement formée d'argile ferrugineuse, dans laquelle les minerais sont dispersés en blocs, veines et rognons de toutes dimensions. Les minerais principaux sont le plomb carbonaté, compacte et terreux, et la calamine compacte ou cariée ; la galène ne se rencontre qu'accidentellement dans le filon, mais elle exclut presque complétement le carbonate dans les gîtes latéraux qui pénètrent la dolomie. Tout ce remplissage est peu cristallin, peu rubané, et par conséquent diffère sensiblement du remplissage des filons réguliers.

Ce filon devait être une espèce de solfatare métallifère établie dans un clivage naturel du sol et par conséquent dans une véritable cassure concordante avec la stratification. Les actions qui ont rempli les vides souvent considérables que présentait la cassure durent se prolonger pendant une période fort longue, ce dont on trouve la preuve dans la nature même des minerais.

En effet, l'ensemble des minerais de plomb de Diepenlinchen est argentifère, mais la proportion de l'argent y est extrêmement variable. Dans un même amas métallifère, le plomb carbonaté sera complétement privé d'argent et contiendra des rognons de galène dans lesquels la proportion d'argent s'élèvera à deux, trois et jusqu'à cinq millièmes. Pour qu'un pareil départ de

Digitized by Google

l'argent ait pu s'effectuer entre le carbonate et le sulfure de plomb, il faut néces airement admettre que les affinités en vertu desquelles il s'est produit ont duré un temps considérable. La disposition de ces minerais en rognons isolés dans les argiles ferrugineuses et jusque dans la dolomie indique d'ailleurs une action très-lente, pendant laquelle tous les phénomènes de liquation et d'agglomération ont pu se produire.

Les détails du gisement des minerais à Diepenlinchen se retrouvent dans un grand nombre d'autres gîtes de la contrée. Les calamines et galènes d'Herrenberg, les plombs carbonatés et sulfurés mélangés de calamine de Busbach, les galènes et calamines de Brenieg, reproduisent une partie des caractères déjà signalés.

Si donc on joint aux faits qui résultent de l'étude de ces gîtes ceux que nous avons précédemment cités, il y a peu de motifs pour repousser le principe de la continuité des minerais en profondeur, même dans les gîtes irréguliers. Sans doute, les variations si prononcées dans la puissance et les formes de ces gîtes donnent lieu à des problèmes difficiles à résoudre et surtout à de grandes variations dans les produits; mais ces problèmes et ces variations sont des caractères spéciaux à la classe des gîtes irréguliers, dont il faut subir les conséquences et qui ne permettent pas de contester les principes établis par l'étude des filons.

Il nous reste à examiner avec détail un ordre de faits que nous avons seulement indiqué et qui exerce sur la production des mines une influence au moins aussi grande que ceux qui sont relatifs à la forme des gîtes. Ce sont les transformations que subissent fréquemment les minerais depuis leurs affleurements jusqu'aux plus bas niveaux atteints aujourd'hui par les exploitations.

VARIATIONS QUE SUBIT LA COMPOSITION DES MINERAIS EN PROFONDEUR.

Les faits précédemment indiqués tendent à démontrer que, dans la plupart des cas où des mines ont été déclarées épuisées

en profondeur, ce prétendu épuisement était dû, soit à une mauvaise interprétation d'accidents passagers ou à des recherches insuffisantes, soit aux difficultés croissantes que présentent les travaux souterrains à mesure qu'ils s'approfondissent; nous pouvons ajouter qu'on peut l'attribuer encore aux changements fréquents qui surviennent dans la nature minéralogique des minerais.

Beaucoup de gîtes métallifères, réguliers ou irréguliers, présentent, en effet, dans leurs parties supérieures, une composition qui se modifie en profondeur; ces variations, qui portent à la fois sur les gangues et les minerais, ont été attribuées, soit à des altérations spontanées, soit à des transports moléculaires postérieurs à leur formation.

Ainsi, dans tous les pays de mines, on connaît le fait si fréquent de l'altération des affleurements, auxquels les Allemands ont donné le nom de *chapeaux de fer*, et que, dans le Cornwall, on désigne sous la dénomination de *gossan*. Le trait le plus saillant de cette altération est la coloration de la masse par les couleurs ocreuses dues à la décomposition des pyrites, et un ramollissement général du gîte, dont les gangues argileuses sont *pourries*, suivant l'expression des mineurs, et dont les gangues quartzeuses sont *cariées* et caverneuses.

Ces modifications n'atteignent pas seulement les affleurements, elles s'étendent à des profondeurs variables, qui souvent dépassent 50 mètres, et vont même, dans certains cas, au delà de 100 mètres.

Dans ces régions supérieures des gîtes, les minerais caractéristiques se présentent souvent dans des conditions toutes particulières. Certains filons plombifères, par exemple, dont la galène est le mirerai normal en profondeur, contiennent principalement, dans toute la région supérieure, le carbonate et le phosphate de plomb, et quelquefois le sulfate, l'arséniate et le chlorure. L'argent, si intimement mélangé à la galène, s'isole au milieu des minerais oxydés ou carbonatés à l'état d'argent natif en filaments, rameaux et dendrites; dans beaucoup de cas,

Digitized by Google

il est à l'état de chlorure et de bromure. Le zinc, qui se trouve à l'état de carbonate ou de silicate dans les gîtes calaminaires superficiels, a une tendance à se présenter à l'état de blende en profondeur.

Les gîtes cuprifères sont ceux qui offrent les différences les plus complexes et les plus saillantes. Ainsi, tandis que les minerais sulfurés, panachés ou pyriteux, constituent en profondeur le minerai normal, la région supérieure contient du cuivre natif, des oxydes terreux ou cristallins, des hydrosilicates, des hydrocarbonates, des phosphates, des arséniates, des chlorures; minéraux remarquables par leurs belles couleurs, et qui donnent alors aux gîtes une physionomie toute particulière. Le passage de ces minerais des régions supérieures aux sulfures qui les excluent en profondeur ne se fait pas d'une manière brusque. Il y a toujours une zone de caractères mixtes, et dans laquelle les minerais sont mélangés.

Un autre caractère concorde avec la transformation de la composition en profondeur, c'est la modification de la structure. Dans les filons, par exemple, on sait que la structure rubanée, c'est-à-dire en zones parallèles au toit et au mur, est un fait général; or ce rubanement n'existe plus dans les parties altérées des régions supérieures, qui ont une structure toujours massive et fragmentaire sans régularité. Dans les gîtes irréguliers et dans les filons qui ne sont pas sujets au rubanement, bien que la transformation de la structure en profondeur soit difficile à saisir, on la remarque cependant, parce que les éléments sulfurés et cristallins de la profondeur sont presque toujours coordonnés à un système dominant de structure. Ces sulfures métallifères se trouvent soit en zones épaisses, soit en veinules, soit en druses, soit en rognons, soit en masses lenticulaires et arrondies; tandis que les parties modifiées ne présentent que des masses confuses et des imbibitions irrégulières.

Tels sont les caractères généraux de variations dont on trouve des exemples dans tous les districts métallifères. Le Cornwall, les Vosges, la Belgique, les provinces Rhénanes, la Saxe, l'Ou-

ral, etc., contiennent des types nombreux de ces gîtes modifiés. Les pacos et les colorados argentifères de l'Amérique du Sud sont également les *gossans* métallifères de gîtes sulfurés en profondeur.

Ayant eu occasion d'étudier un assez grand nombre de ces gîtes variables, nous sommes arrivé à douter que les différences de composition des parties supérieures fussent réellement dues à des altérations postérieures à la formation de ces gîtes, et nous pensons que, *dans un grand nombre de cas, ces différences résultent de faits contemporains de la génération des gîtes.*

Si les décompositions provoquées par les agents atmosphériques, par les eaux souterraines qui circulent la plupart du temps dans les filons, ou encore par la grande conductibilité électrique des filons, étaient l'origine de l'état d'altération que nous avons signalé, cet état serait aussi général que les causes qui l'auraient déterminé. Or il n'en est rien, et nous pouvons citer des districts entiers où ces décompositions n'ont pas atteint les sulfures métalliques. Dans les districts où les régions supérieures de certains gîtes paraissent ainsi très-modifiées, un grand nombre d'autres ne le sont pas et présentent immédiatement les sulfures métalliques. Nous trouvons même cette divergence de caractères dans des filons qui sont parallèles, juxtaposés, et soumis à des conditions physiques absolument identiques.

L'Atlas, en Algérie, contient un grand nombre de filons dont les minerais sont le cuivre pyriteux ou le cuivre gris arsénifère et antimonifère. A Mouzaïa, où les affleurements de ces filons formaient des murailles très-saillantes, c'est à peine si les décompositions spontanées avaient pu atteindre les parties déchaussées; les premiers coups de marteau suffisaient pour y découvrir des parties saines et métalliques. Dans la vallée de l'Oued Boukandak, près Tenès, ainsi que dans celle de l'Oued Tafilès, les filons contenant la pyrite cuivreuse la présèntent immédiatement, sans aucune décomposition, avec un éclat que le passage des eaux suffit pour aviver dans le fond des vallées.

Le même fait s'est présenté dans les filons de la Chiffa et de l'Oued-el-Kebir, de telle sorte que l'on est encore à trouver dans ce vaste pays un seul filon qui ait subi les altérations profondes dont certains filons cuivreux de l'Allemagne nous présentent l'exemple.

Parmi les filons plombifères altérés dont la région supérieure est principalement caractérisée par des phosphates et des arséniates de plomb, tandis que la galène domine en profondeur, nous citerons un des filons du faisceau de Silbach, près d'Holzappel, dans le Nassau. Ce filon contient encore une proportion notable de phosphate à 30 mètres du jour, et dans sa partie supérieure le phosphate de plomb était le minerai principal, tandis que tous les autres filons du même faisceau étaient exclusivement caractérisés par la galène. Comment une altération si profonde n'eût-elle attaqué qu'un seul filon, sur quatre, dont les conditions physiques, l'exposition aux agents atmosphériques et les conditions de gisement sont absolument identiques? Si l'on vient à comparer les gangues du filon altéré avec celles des filons qui ne le sont pas, on trouve que le quartz, compacte dans ces derniers, est carié et caverneux dans l'autre; que les roches des épontes qui, dans les filons sains, n'ont rien de particulier, sont pénétrés de phosphate vert et jaune, cristallin ou terreux.

En voyant les gangues quartzeuses, dures, compactes, bien séparées du minerai qui caractérisent l'ensemble des filons, devenues dans un seul cariées, poreuses et pénétrées par d'autres principes métallifères, on ne peut s'empêcher de conclure que des actions atmosphériques assez énergiques pour produire de pareilles altérations eussent attaqué tous les filons appartenant au même faisceau. Il est plus rationnel de supposer que ces différences de composition sont dues à des actions contemporaines des émanations métallifères, qui seules ont pu agir avec autant de force, et par exception sur un seul filon.

Ces anomalies, dont nous pourrions multiplier les citations, doivent nécessairement jeter quelques incertitudes sur l'hypo-

Digitized by Google

thèse des altérations postérieures. Pour fixer l'esprit, pénétrons dans l'intérieur de quelques filons qui peuvent être cités comme des types d'altération profonde des parties supérieures, et étudions les détails de cette altération.

Le filon de Kautenbach, sur la rive droite de la Moselle (province du Hunsdrück), est comme ceux de Berncastel, dont il est voisin, un filon plombifère à gangue de quartz. Toute la partie supérieure de ce filon, jusqu'à une profondeur qui est en certains points à plus de 60 mètres du jour, abonde en phosphate de plomb jaunâtre, qui a longtemps été le minerai normal, aussi bien que la galène. La puissance du phosphate compacte ou cristallin a dépassé sur plusieurs points $0^m,60$, et, bien qu'il soit impossible de faire aucune évaluation de la quantité de phosphate fournie par ce filon depuis les premiers temps de son exploitation, toujours peut-on dire que pendant bien des années cette production s'est comptée par centaines de tonnes.

En 1846, on extrayait encore des quantités très-notables de ces phosphates, quoique les chantiers fussent à 60 mètres du jour, et nous avons pu faire sur les minerais les observations suivantes : le phosphate était compacte, brun ou blanc jaunâtre, et sillonné de géodes cristallines comme l'eût été un minerai sulfuré ; en plusieurs points, il était intimement mélangé de galène, et souvent les cristaux de phosphate de $0^m,005$ à $0^m,020$ de diamètre, parfaitement nets, étaient empâtés dans de la galène ; on trouvait encore dans les géodes la galène recouvrant les groupements cristallisés de phosphate, et même des cristaux hexaèdres de galène, épigénies du phosphate.

Cette pénétration intime des deux combinaisons ne permet guère de supposer que les phosphates de plomb soient postérieurs à la galène et résultent de sa décomposition. D'où serait venue cette énorme quantité d'acide phosphorique qui ne se trouve ni dans les autres minéraux du filon ni dans les roches encaissantes? N'est-il pas plus logique d'admettre que les phosphates ont été formés en même temps et par les mêmes voies que la galène, et qu'ils se sont principalement condensés près

Digitized by Google

du jour, peut-être parce qu'ils étaient plus volatils que la galène qui occupa la profondeur?

Parmi les filons cuprifères, celui de Rheinbreitbach peut être cité comme exemple de grandes variations de composition en profondeur. Ce beau filon, composé de quartz compacte, présente, au niveau de 120 mètres, pour minerai normal, un mélange intime de cuivre sulfuré, panaché, et de cuivre pyriteux, tandis que, dans toute la partie supérieure, le cuivre phosphaté était le minerai dominant.

Les phosphates des régions supérieures étaient mélangés de quelques combinaisons accidentelles, telles que des arséniates de cuivre, de la malachite, du cuivre natif et oxydulé. En s'approfondissant, les minerais sulfurés se mélangèrent à tous ces minerais et finirent par les exclure. On a pu faire intervenir l'hypothèse d'une décomposition spontanée des sulfures de la région supérieure dans les gîtes cuprifères de la Sibérie, où la malachite leur est substituée; dans les gîtes de Santiago de Cuba, où c'est le cuivre natif et oxydulé; mais ici comment expliquer l'intrusion d'une immense quantité d'acide phosphorique dans un filon d'une composition si simple?

Le quartz, qui sert de gangue aux minerais phosphatés auss bien qu'aux minerais sulfurés, présente lui-même quelques variations qui peuvent éclaircir ces questions théoriques. Dans toute la région des phosphates et des oxydes, ce quartz contient des druses et des géodes calcédonieuses, et c'est dans ces géodes que se trouvent des cristaux ramuleux de cuivre natif, et ces beaux oxydes rouges, capillaires, si recherchés des minéralogistes. En profondeur, dès que les minéraux sulfurés ont exclu les phosphates, le caractère calcédonieux est éliminé; il n'y a plus ni druses ni géodes, et le remplissage est uniquement composé de quartz compacte. Ainsi donc à la difficulté d'expliquer la nature des transformations du minerai par des altérations spontanées se joint l'impossibilité d'attribuer à cette même origine l'état en partie calcédonieux du quartz et la création de druses et de géodes dans une matière absolument compacte.

Digitized by Google

Digitized by Google

L'intervention de l'eau, dans les phénomènes du remplissage de la partie supérieure du filon, est indiquée à la fois par la nature calcédonieuse et stalactiforme de la gangue, et par la composition hydratée des phosphates. Que l'on suppose cette intervention favorisée par le voisinage de la surface, supprimée au contraire en profondeur par l'effet de la température et de la pression, et l'on aura fait un grand pas vers une théorie probable. C'est donc avec raison que les filons ont été assimilés à des solfatares métallifères par lesquelles l'intérieur du globe était mis en communication avec la surface, et cette hypothèse seule peut expliquer comment l'intervention des phénomènes de la surface a souvent pu modifier le remplissage produit par les émanations souterraines.

Après avoir étudié ces modifications des filons plombifères et cuprifères, nous hésiterions encore à généraliser nos conclusions, si les gîtes calaminaires de la Belgique et de la Prusse rhénane ne nous apportaient des faits saisissants, développés sur une échelle des plus vastes, et exprimant avec encore plus de précision les différences qui ont pu exister entre les phénomènes de remplissage vers la surface ou dans les profondeurs.

Nous avons considéré les gîtes calaminaires comme des amas en chapelets, réunis entre eux par des canaux sinueux et de section très-réduite · la section horizontale de ces amas est quelquefois très-considérable, tandis que celle des canaux qui les réunissent se réduit souvent aux dimensions les plus restreintes. Ces cheminées irrégulières, en communication avec les émanations souterraines, paraissent, en certains cas, avoir débouché au jour dans des espèces de vallons ou bassins remplis d'eau, dans lesquels agissaient en même temps des phénomènes sédimentaires.

Les grands bassins superficiels que présentent quelquefois les gîtes calaminaires contiennent des matières évidemment stratifiées par les eaux : telles sont les argiles bolaires bariolées de Moresnet, et les sables du Dos accompagnés de poudingues à cailloux roulés de quartz blanc cimentés par la calamine. Dans

Digitized by Google

le gîte de la Mallieue, et dans celui de la Nouvelle-Montagne, près Verviers, ces produits sédimentaires, consistant en sables arénacés purs ou mélangés d'argile, se trouvent à d'assez grandes profondeurs, par exemple à 25 ou 50 mètres du jour, et occupent à ces niveaux des espaces assez considérables.

D'après cette composition de la région supérieure des gîtes, dont les minerais principalement oxydés, carbonatés et silicatés, sont mélangés avec des produits évidents de transports et de sédiments dus à l'action des eaux, la première idée des exploitants fut de conclure que ces gîtes étaient de simples remblais superficiels, qui n'avaient aucune continuité en profondeur. Ces idées théoriques furent assez générales jusqu'à ce que le grand développement de la fabrication du zinc eût conduit à approfondir les travaux.

On vit alors que les oxydes de fer, les calamines et les plombs carbonatés de la surface étaient remplacés en profondeur par une proportion croissante de pyrite, de blende et de galène. Dans quelques mines, la substitution est complète et l'on ne doute plus aujourd'hui que tous les gîtes oxydés et carbonatés à la surface ne se transforment dans la profondeur en minerais sulfurés. Or, si les sulfures doivent être attribués à des phénomènes agissant de bas en haut, il est difficile de ne pas attribuer la même origine aux carbonates, oxydes et silicates; seulement l'influence des phénomènes de la surface a été pour beaucoup dans la transformation des minerais.

Les gîtes calaminaires de la Silésie, étudiés par M. Delesse, lui ont suggéré des idées analogues : ils résultent de la sédimentation, stratifiant avec des argiles les produits d'émanations souterraines. Les bassins de la Silésie sont beaucoup plus vastes que ceux de la Belgique, et les conduits inférieurs n'ont probablement plus aucune importance de section, comparativement à celle des dépôts.

Depuis plusieurs années on exploite sur la côte septentrionale d'Espagne, dans la province de Santander, des gîtes considérables de carbonate de zinc blanc stalactiforme ou concrétionné.

Les parties supérieures de ces gîtes portent au plus haut degré l'empreinte de l'action des eaux. On y trouve le carbonate de zinc en stalactites concentriques avec l'arragonite et les formes des gîtes, aussi bien que celles des minerais, les assimilant tout à fait aux gîtes calaminaires de la Belgique et de la Silésie. L'exploitation a déjà pénétré à des profondeurs notables et démontré que sur plusieurs points il y avait une tendance prononcée au mélange de sulfures cristallins qui, suivant toute probabilité, remplaceront en profondeur les carbonates et les oxydes terreux.

Les gîtes de Los-Santos, en Espagne, nous ont offert un exemple analogue. Un filon très-puissant, du moins dans la partie supérieure, présente une composition mixte où les phénomènes, non plus de sédimentation arénacée, mais de précipitation chimique d'un travertin calcaire, ont eu autant de part au remplissage que les émanations souterraines qui produisaient le fer spathique et les minerais de cuivre.

En étudiant les mines du Chili, M. Domeyko est arrivé à conclure que les chlorures d'argent, abondants à la surface, étaient remplacés en profondeur par des minerais sulfurés, et que cette modification résultait, non pas d'actions postérieures, mais d'actions contemporaines à la formation des gîtes. La même explication s'applique aux minerais natifs oxydés et chlorurés des *pacos* et *colorados* argentifères du Mexique et du Pérou, qui, dans la profondeur, se transforment en *negros*, c'est-à-dire en minerais sulfurés.

Concluons donc que les différences de composition signalées dans beaucoup de gîtes résultent de ce que les émanations métallifères se sont modifiées en approchant de la surface, sous l'influence des eaux ; ou de ce que des minerais plus volatils que les sulfures se sont condensés vers les parties les plus voisines du jour. Ces différences doivent par conséquent être attribuées non pas à des altérations postérieures, mais bien aux phénomènes générateurs eux-mêmes.

Nous ne voulons pas étendre ces conclusions d'une manière absolue, en prétendant que tous les phénomènes at-

tribués aux altérations spontanées l'ont été à tort. Parmi les exemples mêmes que nous avons pris pour types, le filon de Rheinbreitbach nous offre plusieurs circonstances d'altérations et de transports moléculaires; nous y trouvons un filon croiseur rempli de débris stéatiteux et basaltiques, pénétré vers son contact avec le filon métallifère de cuivre natif qui tapisse les fissures du conglomérat, jusqu'à plusieurs mètres de distance. Ce fait, comme beaucoup d'autres modifications de détail que peuvent présenter les minerais, est bien le résultat d'une action postérieure. Mais les grandes variations dont nous avons signalé plusieurs exemples diffèrent complétement de ces phénomènes de détail, et sont hors de proportion avec les causes auxquelles on les attribuait.

Ces considérations peuvent contribuer à préciser encore la théorie générale des gîtes métallifères. Elles nous montrent en effet les résultats des émanations souterraines se modifiant de plus en plus à mesure qu'on s'éloigne du siége des actions génératrices, de manière à former, suivant les observations de M. Élie de Beaumont, des zones horizontales de nature différente.

La zone la plus rapprochée de la surface est souvent caractérisée par les métaux natifs ou oxydés, par les carbonates, silicates, chlorures, bromures, phosphates, arséniates, etc. ; par la nature compacte, cariée et concrétionnée des gangues. Poursuivis en profondeur, ces minerais et gangues sont bientôt remplacés par les sulfures et par les gangues cristallines qui appartiennent particulièrement à la zone inférieure.

Cette seconde zone est caractérisée non-seulement par les sulfures, mais par l'état cristallin et géodique des minerais et par le rubanement des gangues. Les pyrites, les falherz, la galène, la blende, l'argent rouge, etc., appartiennent à cette catégorie de minerais évidemment formés par sublimation.

Les faits nous manquent pour apprécier les épaisseurs comparatives de ces deux zones. La zone inférieure nous apparaît comme ayant, en quelque sorte, une épaisseur indéfinie et qui ne peut être sondée; des travaux de 800 mètres de profondeur

pratiqués dans certains filons n'ayant pu constater aucune variation qui annonçât une transformation dans les conditions générales de la composition des gîtes. Quant à la zone supérieure, 50 mètres seraient presque une moyenne, et 100 mètres un maximum; son épaisseur est donc très-faible comparativement à celle de la zone inférieure, et elle n'a pour nous une grande importance que parce que c'est celle qui se présente la première à nos recherches et à nos travaux d'exploitation.

Si nous examinons maintenant les variations des minerais relativement à leur traitement métallurgique, nous trouverons que dans beaucoup de cas elles expliquent l'appauvrissement et l'abandon des travaux.

Ainsi beaucoup des exploitations d'argent de l'Amérique du Sud ont été ouvertes dans les pacos et colorados, c'est-à-dire dans des terres ocreuses, tendres et faciles à extraire, qui contenaient l'argent à l'état natif ou à l'état de chlorure, et par conséquent dans les conditions les plus favorables à l'amalgamation. Ces mines s'approfondissent, les travaux deviennent plus coûteux et en même temps les minerais se transforment en sulfures, c'est-à-dire qu'ils deviennent durs à abattre et d'un traitement métallurgique très-difficile dans une contrée qui manque de combustibles : N'est-il pas évident que, dans ce cas, un grand nombre de gîtes seront déclarés épuisés? Mais, aux yeux du géologue, la continuité du minerai reste un fait acquis, il n'y a que sa nature minéralogique qui s'est modifiée.

Prenons un cas non plus de simple modification minéralogique, mais de transformation plus ou moins complète par la substitution d'un métal à un autre, la conclusion sera la même.

Le filon de Bleiberg, entre Liége et Aix-la-Chapelle, présentait dans ses parties supérieures un des plus beaux remplissages de galène que l'on puisse citer ; la puissance du minerai pur et sans aucun mélange de gangue dépassait $0^m,60$ et quelquefois un mètre. Les eaux étaient très-abondantes, et l'on n'hésita pas à faire la dépense de deux machines de six cents chevaux. Mais au niveau de 100 mètres la galène se trouva en grande partie

Digitized by Google

remplacée par de la blende qui vaut cinq à six fois moins. On comprend qu'une pareille transformation dut réagir d'une manière bien fâcheuse sur l'entreprise, et l'on peut dire, jusqu'à un certain point avec exactitude, que le minerai s'était supprimé en profondeur, quoiqu'en réalité la richesse métallifère fût aussi grande.

Concluons de toutes ces considérations et de tous ces exemples que le principe de la continuité des minerais en profondeur se trouve suffisamment démontré, mais comme une généralité théorique qu'on ne peut appliquer dans toute sa rigueur.

La continuité ne peut être absolue ni régulière, pas plus dans la profondeur des gites que dans les parties plus rapprochées du jour. Toutes les variations des minerais, tous les accidents qui les interrompent dans les régions connues, peuvent se présenter en approfondissant les travaux ; mais c'est seulement en restant pénétré des conditions de l'origine de ces minerais et du principe de leur continuité en profondeur que l'on pourra donner aux travaux souterrains cette direction logique et persévérante sans laquelle il ne peut exister d'exploitation durable.

FIN DU TOME PREMIER.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE PREMIER. *Caractères généraux du sol; phénomènes superficiels* 1
Terrains sédimentaires. 4
Terrains éruptifs. 6
Relief du sol. Action des eaux 8
Position des cols. 10
Relief du sol. 12
Action des eaux courantes. 13
Action des eaux de la mer. 19
Dépôts sédimentaires 25
Actions volcaniques. 29
Formation des montagnes. 36
Cratères de soulèvement. 37
Chaînes de montagnes. 39
Origine des roches éruptives. 44

CHAPITRE II. *Composition de l'écorce terrestre. Classification des roches et des formations géologiques.* 47
Caractères généraux des roches. 49
Roches éruptives. 51
Roches feldspathiques. 53
Roches serpentineuses. 63
Roches amphiboliques. 64
Roches pyroxéniques. 65
Age relatif des roches éruptives. 67
Terrains sédimentaires. 68
Roches quartzeuses. 69
Roches calcaires. 70
Roches argileuses. 72
Roches d'agrégation. 74

Caractères de la stratification 76
Subdivision de la série des dépôts sédimentaires. 79
Tableau géognostique des terrains. 84
Roches métamorphiques. 85

CHAPITRE III. *Terrains de transition*. 90
Classification des terrains de transition. 95
Formation de transition inférieure. 101
Gneiss. 102
Micaschistes et stéaschistes. 104
Schistes argileux 106
Formation de transition moyenne. 108
Formation de transition supérieure. 111
Vieux grès rouge. 112
Calcaire carbonifère. 113
Dépôts anthraxifères. 115
Formation houillère. 116
Caractères généraux des dépôts houillers. 121
Diverses variétés de houille. 123
Étendue et richesse des bassins houillers. 125
Gisement et allure des couches de houille. 129
Accidents des couches de houille. 132
Recherche de la houille. 140

CHAPITRE IV. *Terrains secondaires*. 144
Terrain des grès rouges. 147
Formation du nouveau grès rouge. 147
Formation du zetchstein. 149
Formation du grès des Vosges 152
Formation du trias. 154
Formation du grès bigarré. 155
Formation du muschelkalk. 158
Formation des marnes irisées. 160
Terrain jurassique. 167
Formation du lias. 168
Formations oolitiques. 170
Terrain crétacé. 182
Formation du grès vert. 185
Formation crayeuse. 189

CHAPITRE V. *Terrains tertiaires et alluviens*. 193
Formation tertiaire inférieure. 194
Formation tertiaire moyenne. 202
Formation tertiaire supérieure. 206
Substances accidentelles des terrains tertiaires. 209
Dépôts alluviens. 214
Minerais de fer d'alluvion 220

Digitized by Google

CHAPITRE VI. *Terrains éruptifs. — Soulèvements* 225
Terrain volcanique 227
Formation lavique 231
Formation basaltique 235
Formation trachytique 242
Terrain porphyrique 248
Composition du terrain porphyrique 250
Formes et gisement des masses porphyriques 252
Terrain granitique 257
Systèmes de soulèvement. — Alpes 261

CHAPITRE VII. *Gîtes métallifères* 287
Gîtes réguliers et gîtes irréguliers 288
Composition et structure intérieure des filons métallifères . . . 291
Formes et allures des filons 301
Relations et groupement des filons 313
De la distribution et de l'origine des minerais dans les filons . 325
Gîtes irréguliers ; veines, filons et amas de contact 339
Filons. Amas éruptifs 353
Gîtes irréguliers métamorphiques 364

CHAPITRE VIII. *Description des districts métallifères* 369
Districts métallifères de l'Angleterre 369
Districts métallifères de l'empire russe 381
Districts métallifères de la France 386
Districts métallifères de l'Allemagne septentrionale 409
Provinces rhénanes 423
Districts métallifères de l'Autriche, du Piémont, de l'Italie . . . 431
Suède et Norvége 436
Districts métallifères de l'Espagne 440
Districts métallifères de l'Amérique méridionale 443
Brésil. Province de Minas-Geraes 446
Andes Cordillères 450

CHAPITRE IX. *Relations des gîtes métallifères avec les roches éruptives* . 459
Minerais de la période granitique 460
Minerais des périodes porphyrique et volcanique 465
Liaison des minerais de fer, dits minerais de montagne, avec les phénomènes d'éruption et de soulèvement 470
Gîtes métallifères subordonnés aux roches éruptives 476
Harz 477
Erzgebirge 477
Cornwall 478
Vosges 479
Toscane 480
Cuba 483
Kewena-Point 485

Digitized by Google

Nassau 486
Altaï-Oural 495
Andes Cordillères 497

CHAPITRE X. *De la continuité des minerais en profondeur* 500
De la continuité des minerais dans les filons 502
De la continuité des minerais dans les gites irréguliers 515
Variations que subit la composition des minerais en profondeur 534

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

RETURN TO: CIRCULATION DEPARTMENT
198 Main Stacks

LOAN PERIOD 1 Home Use	2	3
4	5	6

ALL BOOKS MAY BE RECALLED AFTER 7 DAYS.
Renewals and Recharges may be made 4 days prior to the due date.
Books may be renewed by calling 642-3405.

DUE AS STAMPED BELOW.

FEB 14 2006		

FORM NO. DD6
50M 1-05

UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY
Berkeley, California 94720–6000

YC 69993

TN145
B8
v.1
1858
17555

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

Digitized by Google